

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1904 г. ТОМЪ 5 No. 6

Электрическій токъ въ газахъ.



Г. П. Кравца [1]

6. *Нѣкоторыя физическія свойства іоновъ газа.*

Изученіе свойствъ іонизированнаго газа значительно облегчается, благодаря тому обстоятельству, что такой газъ представляетъ полную аналогію обыкновенной газовой смѣси, когда небольшое число молекулъ посторонняго газа примѣшано къ молекуламъ газа-растворителя; свободные іоны во многихъ отношеніяхъ должны походить на эти постороннія молекулы. Наблюдая происходящія при этомъ явленія, мы найдемъ возможность составить себѣ представленіе о свойствахъ самихъ іоновъ, подобно тому, какъ это дѣлается въ кинетической теоріи газовъ.

Прежде всего остановимся на скорости, съ которою іоны—подъ дѣйствіемъ извѣстнаго электростатическаго поля—прокладываютъ себѣ путь среди нейтральныхъ молекулъ газа. Общая картина явленія такова: іонъ подъ дѣйствіемъ электрической силы приходитъ въ равномѣрно-ускоренное движеніе по направленію послѣдней; но затѣмъ онъ попадаетъ въ сферу дѣйствія лежащей на его пути молекулы—„сталкивается съ молекулою"—и его скорость мѣняется по величинѣ и направленію, покуда онъ не выйдетъ изъ сферы ея дѣйствія; тогда на протяженіи „свобод-

[1]) Окончаніе; см. стр. 183.

наго пути" онъ опять движется, повинуясь лишь своей инерціи и силамъ электростатическаго поля—до новаго столкновенія. Въ результатѣ—лишь медленное движеніе впередъ; его среднюю скорость намъ и предстоитъ опредѣлить.

Принципъ такого опредѣленія заключается въ томъ, что съ одной стороны измѣряютъ величину тока, проходящаго чрезъ газъ, съ другой — зарядъ іоновъ, одновременно находящихся между пластинками; отсюда можно вычислить скорость движенія іоновъ. Пусть мы имѣемъ двѣ пластинки, на разстояніи l, съ рёнтгенизированнымъ газомъ между ними. Количество паръ (положительныхъ и отрицательныхъ) свободныхъ іоновъ, заключающихся въ слоѣ газа толщиною въ 1 cm, пусть будетъ n; общее число ихъ—nl паръ. Токъ образуется движеніемъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ; если скорости ихъ назовемъ u и v, то въ единицу времени первые переносятъ зарядъ enu, а вторые env. Такимъ образомъ $i = en(u + v)$, и эту величину можно измѣрить. Прервемъ рёнтгенизированіе и приложимъ къ пластинкамъ большую электродвижущую силу; она заставитъ всѣ свободные іоны собраться къ пластинкамъ и сообщитъ каждой изъ иихъ зарядъ $q = enl$. Измѣряютъ и эту величину. Зная q и i, мы опредѣляемъ: $u + v = i\,l/q$. Величина $u + v$ будетъ имѣть разныя значенія въ зивисимости отъ величины электростатическаго поля. Опытъ показываетъ, что между этими величинами существуетъ простая пропорціональность. Поэтому, наша сумма скоростей для даннаго поля получится если подобную сумму для напряженія единицы помножимъ на паденіе потенціала (выраженное въ volt/cm) даннаго поля.

Такія опредѣленія были сдѣланы (инымъ способомъ) Рутерфордомъ, получившимъ слѣдующія значенія для $u + v = U$

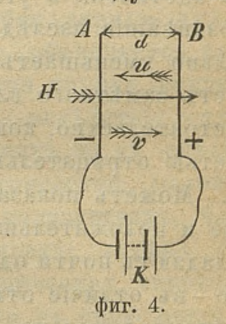
Газъ	U	Газъ	U
Воздухъ	3·2 cm/sec.	CO_2	2·15
H_2	10·4	SO_2	0·99
N_2	3·2	Cl_2	2·0
O_2	2·8	HCl	2·55

Замѣтимъ, что примѣсь пыли и паровъ къ газу должна имѣть большое вліяніе на скорость движенія іоновъ.

Первая дѣйствуетъ такимъ образомъ, что пылинки, обладая сравнительно большою поверхностью, могутъ принимать на себя іоны, которые потомъ должны будутъ тащить съ собою большую массу. Влажность сказывается также, потому что іоны (главнымъ образомъ отрицательные), какъ уже извѣстно, служатъ центрами сгущенія водяного пара.

Чтобы опредѣлить отдѣльно скорости того или другого іона, было выработано нѣсколько методовъ. Мы изложимъ принципъ метода, который позволилъ Зелени опредѣлить отношеніе скоростей іоновъ положительнаго и отрицательнаго. Онъ основанъ на томъ, что рёнтгенизованный газъ заставляютъ двигаться навстрѣчу движенію іоновъ и наблюдаютъ получающійся эффектъ.

Двѣ пластинки A и B (фиг. 4) изъ металлической сѣтки заряжаются отъ батареи K до любого потенціала. Воздухъ между ними рёнтгенизируется; при этомъ образуются іоны, которые и устремляются съ нѣкоторою скоростью къ пластинкамъ. Если потенціалы пластинокъ разнятся на E volt, то напряженіе поля равно E/d (volt/cm). Если при 1 volt/cm скорость положительнаго іона была u, то теперь она uE/d, а отрицательнаго $-vE/d$. Затѣмъ начинаютъ продувать сильную струю воздуха сквозь пластинки (отъ A къ B или наоборотъ) со скоростью, равною H. Тогда результирующая скорость положительнаго іона будетъ $H-uE/d$, а отрицательнаго $H+vE/d$.



фиг. 4.

Можно выбрать потенціалъ E такъ, чтобы скорость того или другого іона сдѣлалась равною нулю. Пусть это случится при $E=E_1$ для положительнаго, и при $E=E_2$ для отрицательнаго іона. Тогда $H-uE_1/d=0$ и $H+vE_2/d=0$. При такихъ потенціалахъ соотвѣтствующія пластинки, если ихъ отнять отъ батареи и связать съ электрометромъ, окажутся не наэлектризованными. При условіяхъ даннаго опыта было бы трудно измѣрить точно H; поэтому его исключаютъ и опредѣляютъ отношеніе скоростей $u/v=-E_2/E_1$. Приводимъ отношеніе скорости отрицательнаго іона къ скорости положительнаго изъ этихъ опытовъ

Газъ	Отношеніе
Воздухъ	1·24
Кислородъ . . .	1·24
Азотъ	1·23
Водородъ. . . .	1·14
Свѣтильный газъ.	1·15
Углекислота. . .	1·0
Аміакъ.	1·045
Ацетиленъ . . .	0·985
Окись азота. . .	1·105

Мы видимъ, что скорость отрицательнаго іона всюду, кромѣ ацетилена и углекислоты, больше скорости положительнаго. Позднѣйшія изслѣдованія выяснили, что влажность газа значительно уменьшаетъ скорость отрицательнаго іона, но не оказываетъ замѣтнаго вліянія на скорость положительнаго іона. Это обстоятельство, конечно, нужно привести въ связь съ способностью отрицательныхъ іоновъ служить центрами сгущенія влаги. Можетъ показаться нѣсколько страннымъ, что отрицательные и положительные іоны столь различные въ своихъ массахъ обладаютъ почти одинакими скоростями; но мы должны помнить, что—въ отличіе отъ нейтральныхъ молекулъ—іоны заряжены и притомъ довольно значительными количествами электричествъ; вслѣдствіе этого вокругъ каждаго изъ нихъ образуется сильное поле, заставляющее молекулы приближаться къ іонамъ и падать на нихъ. Такимъ образомъ значительную часть своего пути іону приходится совершать въ сопровожденіи этихъ прилипающихъ къ нему частицъ газа. Это одинаково относится къ обоимъ родамъ іоновъ и сильно скрадываетъ разницу въ скоростяхъ ихъ движенія. До сихъ поръ мы разсматривали движеніе іоновъ подъ вліяніемъ электростатическихъ силъ. Однако мы знаемъ, что газъ, примѣшанный къ другому, постепенно, безъ всякаго дѣйствія какихъ-либо силъ, *диффундируетъ* въ послѣднемъ изъ мѣста болѣе богатаго примѣсью въ мѣста менѣе ею богатыя. Если въ нѣкоторомъ слоѣ газа имѣется, на единицу толщины

слоя, n молекулъ примѣшаннаго газа, а въ сосѣднемъ, на разстояніи Δx, имѣется $n+\Delta n$ такихъ молекулъ, то въ единицу времени изъ второго слоя переходитъ въ первый число примѣшанныхъ молекулъ равное $k. \Delta n/\Delta x$, гдѣ k—„коэффиціентъ диффузіи газа чрезъ растворитель". Интересно опредѣлить какова величина этого коэффиціента диффузіи для іоновъ положительнаго и отрицательнаго.

Для этого были предложены различные методы. Напримѣръ, Виляри поступалъ такъ: онъ рëнтгенизировалъ газъ внутри сосуда и оттуда вытягивалъ его чрезъ трубку; трубка состояла изъ отдѣльныхъ металлическихъ звеньевъ, изолированныхъ другъ отъ друга. Когда іонизированный газъ проходилъ чрезъ трубку, іоны диффундировали изъ газа къ стѣнкамъ трубки и сообщали имъ зарядъ. Оказалось, что части трубки, ближайшія къ сосуду, заряжались отрицательно; это указываетъ на бóльшую скорость диффузіи отрицательныхъ іоновъ; затѣмъ, въ слѣдующихъ частяхъ трубки, зарядъ постепенно падалъ и наконецъ становился равнымъ нулю; слѣдующія части заряжались уже положительно; въ опредѣленномъ мѣстѣ трубки зарядъ имѣлъ maximum и затѣмъ падалъ до нуля. Все это объясняется слѣдующимъ образомъ: по мѣрѣ того, какъ внутри трубки концентрація отрицательныхъ іоновъ уменьшалась—вслѣдствіе отдачи ихъ звеньямъ трубки, въ слѣдующихъ частяхъ ея на стѣнки садилось уже меньше отрицательнаго электричества; положительное садится въ относительно бóльшихъ количествахъ, благодаря меньшей отдачи въ первыхъ звеньяхъ; затѣмъ садятся равныя количества того и другого электричества, наконецъ превозмогаетъ положительная отдача, которая въ свою очередь начинаетъ падать послѣ удаленія большинства свободныхъ іоновъ.

Во всѣхъ опытахъ съ диффузіею къ стѣнкамъ сосудовъ, надо брать эти сосуды возможно меньшихъ размѣровъ; при этомъ условіи столкновеніе іоновъ со стѣнками сдѣлается гораздо болѣе вѣроятнымъ, чѣмъ столкновеніе ихъ другъ съ другомъ; въ противномъ случаѣ придется принять въ разсчетъ постепенную „молизацію" сталкивающихся противоположныхъ іоновъ. Другой методъ таковъ: берутъ двѣ близкихъ другъ къ другу пластинки, рëнтгенизируютъ между ними газъ и опредѣляютъ насыщенный токъ, приложивъ къ пластинкамъ большую электродвижущую силу. Если между пластинками разстояніе $2l$, и на

единицу толщины слоя газа лучи въ одну секунду образуютъ n іоновъ, то количество электричества, которое въ единицу времени доставляется къ пластинкамъ, равно $2nle$, гдѣ e—зарядъ каждаго іона. Замѣтимъ отклоненіе, которое дастъ электрометръ, связанный съ пластинкою, заряженною предварительно отрицательно; это отклоненіе $\delta_1 = C.\,2nle$.

Съ другой стороны, произведемъ такой опытъ: соединимъ пластинки съ землею и рёнтгенизируемъ газъ; іоны будутъ приходить въ соприкосновеніе съ пластинками, и когда число іоновъ, выходящихъ изъ сферы дѣйствія, сравняется съ числомъ іоновъ, вновь производимыхъ лучами, тогда наступитъ равновѣсіе. Можно доказать, что это число равно $2nl^3/3k$, гдѣ n и l имѣютъ прежнія значенія, а k—искомый коэффиціентъ диффузіи [1]). Мы можемъ опредѣлить чему равно количество $2nl^3/3k$; для этого нужно внезапно остановить рёнтгенизированіе, приложить къ пластинкамъ большую электродвижущую силу и измѣрить зарядъ, который получитъ одна изъ пластинокъ, напр. отрицательная; если хотимъ опредѣлить коэффиціентъ диффузіи положительныхъ іоновъ, и наоборотъ. Такимъ образомъ найдемъ $\delta_2 = C.\ 2nl^3e/3k = l^2\delta_1/3k$ и отсюда опредѣлимъ k.

Приводимъ величины коэффиціента k для разныхъ газовъ:

Газъ	$k+$	$k-$
Воздухъ	0·028	0·043
O_2	0·025	0·396
CO_2	0·023	0·026
H_2	0·123	0·190

[1]) Представимъ себѣ іонизируемый газъ между двумя параллельными металлическими пластинками перпендикулярными къ оси x; пусть n число положительныхъ или отрицательныхъ іоновъ въ cm^3 и m число іоновъ, образуемыхъ въ одну секунду іонизаторомъ; k—коэф. диффузіи. Изъ слоя толщины dx справа выходитъ въ единицу времени $k\,dn/dx$ іоновъ, а слѣва входитъ $k(dn/dx + d^2n/dx^2)$; вслѣдствіе диффузіи число іоновъ нашего слоя увеличивается на kd^2n/dx^2, а всего это число увеличивается на $(m + kd^2n/dx^2)dx$. Если наступило равновѣсіе, то это количество равно нулю, т. е. $m + kd^2n/dx^2 = 0$; интегрируя, имѣемъ:

Мы видимъ, что и здѣсь имѣется налицо нѣкоторая, хотя и небольшая разница между тѣмъ и другимъ іономъ. Для влажныхъ газовъ получаются тѣ же характерныя измѣненія, что и раньше.

Любопытно, что диффузія однихъ газовъ чрезъ другіе совершается значительно быстрѣе. Такъ водородъ, диффундируя чрезъ воздухъ, имѣетъ коэффиціентъ диффузіи 0·634. Слѣдовательно и въ явленіи диффузіи сказывается вліяніе электрическаго поля іоновъ, заставляющаго ихъ увлекать за собою нейтральныя молекулы.

Знаніе среднихъ скоростей движенія іоновъ и коэффиціентовъ ихъ диффузіи важно потому, что оно даетъ возможность рѣшить вопросъ о *зарядѣ іоновъ*, что́, конечно, есть вопросъ первостепенной важности. Къ этому рѣшенію насъ ведетъ слѣдующее разсужденіе.

Мы видѣли, что количество іоновъ, диффундирующихъ изъ слоя съ избыткомъ Δn іоновъ, равно $k\,\Delta n/\Delta x$; при этомъ они переносятъ количество электричества $ke\,\Delta n/\Delta x$. Результатъ былъ бы тотъ же, еслибы всѣ n іоновъ пришли въ движеніе съ нѣкоторою среднею скоростью u. Это u найдется изъ уравненія: $nue = ke\,\Delta n/\Delta x$, откуда $u = (k/n)\,(\Delta n/\Delta x)$. Такъ какъ „парціальное давленіе іоновъ“ p пропорціонально ихъ концентраціи, то можно также написать: $u = (k/p)\,(\Delta p/\Delta x)$. Но что такое есть $\Delta p/\Delta x$?. Это есть возростаніе давленія на единицу толщины слоя, т. е. это есть та сила, которая заставляетъ двигаться іоны; назовемъ ее f; тогда $u = fk/p$. Мы можемъ сказать, что какого бы происхожденія сила f ни была, ея дѣйствіе всегда скажется тѣмъ, что іоны придутъ къ движеніе со скоростью u. Положимъ, что эта сила обусловливается электрическимъ полемъ напряженія X; тогда $f = Xen$, гдѣ n число іоновъ и e—зарядъ каждаго изъ

$-n = mx^2/2k + C_1x + C_2$, гдѣ n—число іоновъ на разстояніи x отъ начала координатъ; выберемъ послѣднее на серединѣ между пластинками; тогда при $x = \pm l$ (т. е. у пластинокъ) n всегда равно нулю. Отсюда найдутся $C_1 = 0$ и $C_2 = ml^2/2k$ и слѣдовательно $n = m(l^2 - x^2)/2k$. Общее число оновъ между пластинками получимъ, взявъ интегралъ n по x между предѣлами $-l$ и l: $\int_{-l}^{l} n\,dx = \frac{m}{2k}\int (l^2 - x^2)\,dx = \frac{2ml^3}{3k}$.

Задача наша вполнѣ аналогична той, въ которой требовалось бы отыскать количество паровъ воды между двумя гигроскопичными пластинками.

нихъ; подставляя это значеніе f въ предыдущую формулу, имѣемъ $u = kXen/p$. Если $X = 1$, то мы получимъ скорость іона въ полѣ напряженія равномъ единицѣ, т. е. извѣстную уже намъ величину u_0; итакъ $u_0 = k\,en/p$. Отсюда видно, что n/p для всѣхъ газовъ есть величина постоянная $= N/p_0$ гдѣ p_0—нормальное давленіе, N—число частицъ газа въ единицѣ объема при нормальномъ давленіи; такимъ образомъ

$$u_0 = k\,\frac{eN}{p_0}.$$

Отсюда можно опредѣлить величину eN, т. е. сумму зарядовъ, которою обладаетъ столько іоновъ, сколько частицъ заключается въ одномъ куб. центиметрѣ газа при нормальномъ давленіи и при той температурѣ, къ которой относятся u_0 и k (около 15°Ц). Если e выразить въ абсолютныхъ электростатическихъ единицахъ, то для этой величины получаются слѣдующія значенія:

воздухъ	$Ne = 1{\cdot}27.10^{10}$
O_2	$1{\cdot}32.10^{10}$
CO_2	$1{\cdot}13.10^{10}$
H_2	$1{\cdot}20.10^{10}$
въ среднемъ	$Ne = 1{\cdot}23.10^{10}$

Такъ какъ намъ извѣстно, что при указанныхъ условіяхъ $N = 10^{20}$, то $e = 1{\cdot}23.10^{-10}$ абс. эл-ст. единицъ. Но важнѣе другой вопросъ: мы можемъ очень точно вычислить Ne для тѣхъ іоновъ, которые находятся въ электролитическихъ растворахъ. Возьмемъ напр., водородъ; извѣстно, что при нормальномъ давленіи и 15° одинъ кулонъ выдѣляетъ 0·1219 cm³ водорода. Если при этихъ условіяхъ въ единицѣ объема находится N молекулъ водорода, т. е. $2N$ атомовъ-іоновъ, то $0{\cdot}1219.\ 2Ne = 1$ coul $= 3.10^9$ абс. эл-ст. ед., откуда $Ne = 1{\cdot}23.10^{10}$.

Слѣдовательно какъ въ іонизированномъ газѣ, такъ и въ электролитической ваннѣ для Ne получается одно и то же числовое значеніе. Отсюда мы заключаемъ, что *количества электричества, переносимыя этими совершенно различными видами іоновъ, одинаковы.* Значитъ дѣйствительно существуетъ нѣкоторое предѣльное дробленіе электрической субстанціи, существуютъ атомы электричества или электроны. То, что при изученіи катодныхъ лучей, мы высказывали какъ допущеніе,

получаетъ теперь фактическое подтвержденіе: зарядъ электрона—тотъ же, что зарядъ электролитическаго іона, хотя матеріальная масса перваго разъ въ тысячу меньше массы втораго.

Вопросъ о зарядѣ іоновъ рѣшался и другимъ путемъ. Любопытное изслѣдованіе въ этомъ направленіи принадлежитъ Дж. Дж. Томсону, который пользовался свойствомъ отрицательныхъ іоновъ служить центрами сгущенія водяного пара. Газъ рёнтгенизировался въ сосудѣ, потомъ быстро расширялся; послѣ связаннаго съ этимъ расширеніемъ охлажденія, водяные пары, какъ пересыщенные, конденсировались на отрицательныхъ іонахъ. Іонизація берется слабая, чтобы всѣ іоны могли покрыться водяными оболочками. Охлаждать надо по возможности меньше—иначе конденсація совершается и на положительныхъ іонахъ. Расширеніе въ 1·25 разъ оказывается подходящимъ для данной цѣли: капельки, образовавшись, начинаютъ медленно падать на дно сосуда. По скорости ихъ паденія можно опредѣлить ихъ радіусъ, такъ какъ эта скорость опредѣляется слѣдующею формулою Стокса

$$v = \frac{2}{9}\frac{ga^2}{\mu}$$

гдѣ μ—коэффиціентъ вязкости газа, a—радіусъ капельки и $g = 981$ cm/sec². Съ другой стороны, можно опредѣлить общее количество выдѣлившейся воды. Мы знаемъ, что при расширеніи газъ охладится на опредѣленное число градусовъ, которое можно напередъ вычислить. При конденсаціи вновь выдѣлится нѣкоторое количество тепла, и температура повысится противъ вычисленной. Разница даетъ возможность вычислить количество конденсированной жидкости; количество ея на одномъ іонѣ извѣстно, такъ какъ извѣстенъ радіусъ капельки. Такимъ образомъ вычисляется число іоновъ въ единицѣ объема. Затѣмъ, можно опредѣлить зарядъ, переносимый въ единицу времени; при напряженіи поля равномъ единицѣ онъ равенъ neu, гдѣ u—извѣстная уже скорость іоновъ. Отсюда опредѣляется e, такъ какъ n мы уже опредѣлили (стр 235). Способъ этотъ даетъ только порядокъ величины e. Дж. Дж. Томсонъ получилъ $e = 6{\cdot}5.10^{10}$ абс. эл-ст. ед. для іоновъ воздуха и $6{\cdot}7.10^{10}$ для водорода. Какъ видимъ, числа эти одного порядка съ ранѣе найденнымъ $e = 1{\cdot}23.10^{10}$. Если принять $e = 6{\cdot}6.10^{10}$ и $Ne = 1{\cdot}23.10.^{10}$, то $N = 1{\cdot}86.10^{19}$, т. е. получается число, лежащее

между тѣми предѣлами, которые даются для N въ кинетической теоріи газовъ (10^{19} и 10^{20}).

7. *Іонизированіе посредствомъ ультрафіолетовыхъ лучей.*

Когда ультрафіолетовые лучи падаютъ на поверхность твердаго тѣла, они производятъ извѣстный намъ „актиноэлектрическій разрядъ". На газъ эти лучи, какъ мы видѣли, не дѣйствуютъ по крайней мѣрѣ въ тѣхъ опытахъ, которые мы описывали.

Такъ какъ іонизированіе совершается на счетъ поглощаемыхъ газомъ лучей, то и нельзя было ожидать такого дѣйствія отъ обыкновенныхъ ультрафіолетовыхъ волнъ, такъ какъ онѣ, по крайней мѣрѣ въ замѣтной степени, газами не поглощаются. Однако, существуютъ особыя, очень короткія ультрафіолетовыя волны, изслѣдованныя Шуманомъ, которыя, напротивъ, очень сильно поглощаются, напр., воздухомъ; на болѣе или менѣе значительныхъ разстояніяхъ отъ источника этихъ волнъ—обыкновенно электрической искры—дѣйствіе ихъ слабо замѣтно, пропадая въ нѣсколькихъ центиметрахъ. Нельзя-ли ожидать ихъ іонизирующаго дѣйствія на газъ?

Этотъ вопросъ особенно подробно изученъ Ленардомъ, который продѣлалъ слѣдующіе опыты:

1) Вблизи искры помѣщалась струя водяного пара; при дѣйствіи искры ясно сказывалось присутствіе центровъ сгущенія пара; оно было замѣтнѣе на близкихъ разстояніяхъ и пропадало въ 2 cm. отъ искры. Прозрачными для дѣйствія искры оказались: металлическая сѣтка, кварцевая пластинка, пустота; непрозрачными: стекло, воздухъ въ слояхъ болѣе толстыхъ, чѣмъ 2 cm. Всѣ постороннія вліянія были исключены, и было доказано, что все дѣйствіе слѣдуетъ приписать короткимъ ультрафіолетовымъ волнамъ; дѣйствіе можно было концентрировать линзами изъ кварца, каменной соли, плавиковаго шпата.

Центры сгущенія легко появлялись въ воздухѣ, кислородѣ и углекислотѣ, трудно—въ свѣтильномъ газѣ и совсѣмъ не появлялись въ водородѣ. Лучи сильно поглощаются свѣтильнымъ газомъ и не поглощаются водородомъ. Мы видимъ, что и здѣсь поглощеніе есть необходимое, но далеко недостаточное условіе для полученія центровъ сгущенія.

2) Газъ, въ которомъ можно наблюдать центры сгущенія, проводитъ электричество; помѣщенный въ немъ электроскопъ, быстро разряжается, все равно, какимъ бы электричествомъ онъ ни былъ заряженъ. Если дѣйствію лучей подвергать газъ, находящійся между двумя противоположно заряженными пластинками, то послѣднія теряютъ свой зарядъ постепенно, при чемъ съ увеличеніемъ потенціала эта потеря совершается быстрѣе, но не безпредѣльно. Если продувать инсолируемый воздухъ между сильно заряженными пластинками, то онъ теряетъ свою электропроводность.

3) Такъ какъ всѣ эти явленія указываютъ на іонизацію газа, то была сдѣлана попытка отдѣлить другъ отъ друга іоны положительные и отрицательные. Ленардъ достигъ этого такъ: кубическая клѣтка изъ металлической сѣтки окружаетъ повѣшенный въ ея центрѣ на изолирующей ниткѣ шарикъ; чтобы избѣжать дѣйствія болѣе длинныхъ волнъ на проводники, послѣдніе покрыты мыльнымъ растворомъ (вода, какъ мы видѣли, уже одна уничтожаетъ актиноэлектрическій эффектъ); шарикъ заряжался до потенціала +2270 volt; клѣтка имѣла потенціалъ нуль, но была изолирована отъ земли и соединена съ электроскопомъ. Оказывается, что при освѣщеніи искрою воздуха въ клѣткѣ, послѣдняя постоянно принимала отрицательные заряды. Это зависитъ отъ того, что отрицательные іоны, какъ болѣе подвижные, быстрѣе диффундировали къ стѣнкамъ клѣтки; воздухъ же внутри ея оставался заряженнымъ положительно.

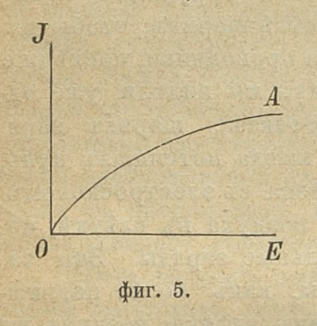
4) Ленардъ опредѣлялъ и скорость движенія іоновъ; онъ получилъ величины того же порядка, какъ Рутерфордъ (раза въ два бо́льшія). Но его опыты менѣе точны, чѣмъ прежде описанные.

Намъ нѣтъ надобности останавливаться здѣсь дольше на этихъ явленіяхъ. Мы видимъ, что явленія носятъ совершенно тотъ же характеръ, какъ и при рёнтгенизированіи газа. Электропроводность того же характера, какъ электролитическая; въ томъ и въ другомъ случаѣ іоны отмѣчены одинакими физическими свойствами.

8. *Іонизированіе въ пламени и въ выдѣляемыхъ изъ него газахъ.*

Уже давно извѣстно, что пламя и поднимающіеся отъ него газы—проводники электричества и разряжаютъ наэлектризованные проводники.

Электропроводность газовъ, отдѣляемыхъ пламенемъ, понемногу ослабѣваетъ съ теченіемъ времени, сохраняясь, однако, до нѣсколькихъ минутъ. Разряжаются и проводники, непосредственно не соприкасающіеся съ раскаленными газами, а находящіеся лишь по сосѣдству, какъ бы благодаря „диффузіи электропроводности“ или движенію по силовымъ линіямъ носителей электричества изъ пламени, приближающихся, къ заряженнымъ проводникамъ. Примѣсь къ пламени летучихъ солей сильно повышаетъ электропроводность пламени. Зависимость силы тока, проходящаго между двумя пластинками чрезъ пламя, отъ разности потенціаловъ пластинокъ изслѣдована Уильсономъ и оказалась того же характера, что и въ изслѣдованныхъ ранѣе случаяхъ рёнтгенизированія и освѣщенія ультрафіолетовымъ свѣтомъ. Только, повидимому, вмѣсто горизонтальной прямой тока насыщенія получается прямая, слабо наклоненная къ оси абсциссъ. Причину этого можно искать въ большой скорости отрицательныхъ іоновъ пламени; какъ мы увидимъ далѣе, при такой большой скорости „насыщенія“ вообще не наступаетъ.



фиг. 5.

Измѣренія скоростей іоновъ въ пламени обнаружили бо́льшую разницу между положительными и отрицательными іонами. Можетъ быть, при высокой температурѣ раскаленныхъ газовъ пламени нейтральные молекулы слабѣе прилипаютъ къ іонамъ.

Ленардъ описываетъ очень простой опытъ, показывающій разницу къ свойствахъ положительнаго и отрицательнаго іоновъ внутри пламени. Бунзеновскую горѣлку заставляютъ горѣть между двумя пластинками, заряжаемыми отъ электростатической машины противоположными электричествами. Въ нижнюю часть пламени вводятъ небольшое натровое стеклышко, отъ котораго поднимается вверхъ желтая струйка; какъ только пластинки заряжаются, эта струйка замѣтно отклоняется въ сторону отрицательно заряженной пластинки, что указываетъ на положительный зарядъ металлическихъ паровъ. Отрицательныхъ іоновъ никакъ не удается подмѣтить. Очевидно, что они или не свѣтятся, или обладаютъ настолько большою скоростью движенія, что исче-

заютъ изъ поля дѣйствія, слишкомъ быстро чтобы быть замѣченными. Опытъ можетъ быть сдѣланъ очень демонстративно.

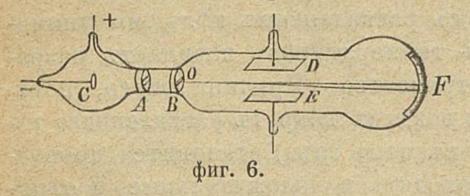
Когда мы разсматривали „эдиссоновскій эффектъ“—удаленіе отрицательныхъ зарядовъ съ раскаленныхъ тѣлъ, мы упоминали, что при болѣе высокихъ температурахъ начинаетъ разряжаться и положительное электричество. Причина этого, повидимому, лежитъ въ томъ, что воздухъ вокругъ раскаленнаго тѣла (а также окклудированные въ немъ газы) становится проводникомъ; тогда чрезъ него проходятъ и положительные, и отрицательные заряды.

9. *Іонизированіе посредствомъ катодныхъ лучей и радіоактивныхъ веществъ.*

Когда катодные лучи падаютъ на твердое тѣло, они, между прочимъ, даютъ мѣсто новому пучку диффузныхъ лучей, распространяющихся отъ мѣста паденія первыхъ. Хотя трудно рѣшить вопросъ, суть-ли это лучи въ собственномъ смыслѣ отраженные, или же подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей разбиваются молекулы твердаго тѣла и при этомъ испускаютъ вторичные лучи, подобные первымъ. Во всякомъ случаѣ такое дѣйствіе возможно; такимъ разрушающимъ, іонизирующимъ образомъ электроны катодныхъ лучей могутъ дѣйствовать и на газовыя молекулы, съ которыми имъ приходится сталкиваться. И дѣйствительно, внутри круксовской трубки газъ становится проводящимъ, когда чрезъ него проходятъ катодные лучи. Въ этомъ можно удостовѣриться, впаивая въ круксовскую трубку два электрода въ направленіи, поперечномъ къ пучку лучей. Если эти два электрода зарядить различными потенціалами, то между электродами обнаруживается электрическій токъ, хотя бы разность этихъ потенціаловъ была слишкомъ мала, чтобы вызвать разрядъ въ трубкѣ.

Однако, можетъ возникнуть сомнѣніе, играютъ-ли здѣсь какую-нибудь роль катодные лучи? Для рѣшенія этого вопроса Дж. Дж. Томсонъ сдѣлалъ такой опытъ. Въ трубкѣ, изображенной на чертежѣ 6, C—катодъ, A и B двѣ металлическихъ перегородки съ узкими щелями; A представляетъ изъ себя анодъ трубки. Чрезъ щели A и B катодные лучи вырываются въ правую часть трубки и у F производятъ флуоресценцію поставленнаго тамъ экрана. Если между A и B образовать магнитное поле, можно

отклонить лучи, и они не проникнутъ чрезъ *B*. На дальнѣйшемъ пути лучей имъ приходится пройти между заряженными пластинками *D* и *E*; электростатическое дѣйствіе ихъ зарядовъ производитъ отклоненіе лучей кверху или книзу, смотря потому, которая пластинка заряжена положительно. Какъ только пучекъ лучей проходилъ между пластинками, отъ одной изъ нихъ къ другой шелъ электрическій токъ; прекращая доступъ лучамъ въ пространство между пластинками, мы тѣмъ самымъ прекращаемъ и электрическій токъ между ними. Можно было бы думать, что здѣсь переносителями электричества являются электроны катодныхъ лучей; но это не такъ: они слишкомъ быстро летятъ, чтобы притянутся къ пластинкамъ; на экранѣ *F* мы замѣчаемъ флуоресцирующее пятнышко, производимое немного отклоненнымъ пучкомъ. Самое же важное доказательство неправильности такого толкованія заключается въ томъ, что электропроводность газа между пластинками не униполярна: въ его пространствѣ теряются одинаково легко и положительные и отрицательные заряды; въ катодномъ же пучкѣ имѣются одни отрицательные электроны.



фиг. 6.

Мы видимъ, что ударъ отрицательной частицы, обладающей достаточнымъ запасомъ кинетической энергіи, можетъ іонизировать молекулу и сдѣлать газъ проводящимъ. Дж. Дж. Томсонъ измѣрялъ величину тока, проходящаго между пластинками, когда онѣ были заряжены до различной разности потенціаловъ. Онъ получилъ типичную кривую тока въ іонизируемыхъ газахъ, съ горизонтальною прямою „насыщеннаго тока“.

Всюду, гдѣ мы имѣемъ потокъ быстро-движущихся отрицательныхъ электроновъ, мы замѣчаемъ и іонизированіе газа. Такъ, ленардовскіе лучи дѣлаютъ воздухъ проводящимъ, и притомъ одинаково какъ для положительнаго, такъ и для отрицательнаго элекричества. То же самое Ленардъ могъ доказать относительно тѣхъ лучей, которые уносятся съ поверхности актиноэлектрическихъ тѣлъ при ультрафіолетовомъ освѣщеніи ихъ. Наконецъ, то же наблюдается и около радіоактивныхъ веществъ, которыя, какъ извѣстно, въ числѣ другихъ радіацій, испускаютъ и подобные катоднымъ лучи, переносящіе съ громадной скоростью отрицательные заряды.

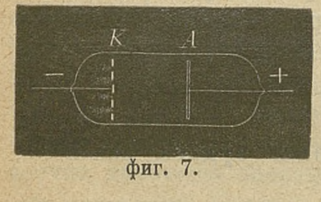
Возникаетъ вопросъ, съ какою среднею скоростью долженъ летѣть отрицательный электронъ, чтобы быть въ состояніи разбить встрѣчную нейтральную молекулу. Прямой отвѣтъ на этотъ вопросъ было бы однако затруднительно дать, какъ это показываютъ слѣдующія соображенія: молекулы, встрѣчающіяся съ электрономъ, сами обладаютъ нѣкоторою скоростью, и относительная скорость движенія въ зависимости отъ этого опредѣляется не однимъ движеніемъ электрона. Далѣе, связь іоновъ въ молекулѣ тоже можетъ быть, при разныхъ условіяхъ (температура, присутствіе другихъ іонизаторовъ, вліяніе предшествовавшихъ столкновеній и т. п.) различно сильна. Вѣрнѣе будетъ сказать, что электронъ при всякой скорости можетъ разбить молекулу, но вѣроятность іонизаціи будетъ различна. Къ этому вопросу мы еще возвратимся.

Далѣе возникаетъ вопросъ, производитъ-ли іонизацію столкновеніе молекулы съ положительнымъ іономъ. Прежде, чѣмъ обращаться къ опыту, можемъ напередъ сказать, что здѣсь эффектъ, очевидно, достигается съ большею трудностью. Отрицательный іонъ малъ въ сравненіи съ молекулою, при столкновеніи онъ можетъ дѣйствовать со всею энергіею на одну какую-нибудь часть молекулы, ослабляя ея связь съ остальною частью. Положительный іонъ, по своей величинѣ равный съ молекулою, очевидно, долженъ дѣйствовать на всю молекулу; потрясеніе, которое онъ долженъ ей нанести, чтобы она распалась, должно быть значительно сильнѣе. Впослѣдствіи мы увидимъ, что эти соображенія и оправдываются. Вообще же опытъ показываетъ, что и положительные іоны при столкновеніи съ молекулою могутъ ее іонизировать.

Случаи, въ которыхъ мы имѣемъ потокъ положительно заряженныхъ частицъ, суть главнымъ образомъ слѣдующіе: во-первыхъ — излученіе тѣхъ же радіоактивныхъ тѣлъ и во-вторыхъ — закатодные лучи („Canalstrahlen"). Рутерфордъ показалъ, что среди тѣхъ лучей радія, которые считались неотклоняемыми магнитомъ, имѣются два сорта: одни — сильно и другіе — слабо поглощаемые тѣлами. Первые ему удалось отклонить при помощи очень сильнаго магнитнаго поля; направленіе отклоненія показывало, что они несутъ съ собою положительные заряды. Отношеніе заряда къ массѣ было гораздо меньше, чѣмъ въ катодныхъ лучахъ; скорость движенія весьма велика. Этимъ то лучамъ и нужно, повидимому, приписать главную энергію, раз-

виваемую радіоактивными веществами; во всякомъ случаѣ, главная часть іонизаціи окружающихъ газовъ оказалась зависящей именно отъ нихъ.

Закатодные лучи получаются въ круксовской трубкѣ за катодомъ (въ сторону, обратную той, которая обращена къ аноду), если катодъ состоитъ не изъ сплошной пластинки, а напр. изъ металлической рѣшетки. Тогда, какъ показано на приложенномъ чертежѣ, за каждымъ отверстіемъ въ катодѣ получается пучекъ лучей, обладающихъ слѣдующими свойствами: они распространяются прямолинейно, возбуждаютъ въ стеклѣ желтую флуоресценцію, магнитомъ отклоняются (слабо) въ сторону, противоположную катоднымъ лучамъ; при извѣстныхъ условіяхъ заряжаютъ положительно тѣла, на которыя падаютъ, пронизываемый ими газъ дѣлается *проводящимъ*. Это послѣднее свойство насъ особенно и интересуетъ въ данномъ случаѣ; прочія же перечисленныя свойства устанавливаютъ физическую природу этихъ лучей: это—потокъ положительно заряженныхъ частицъ, движущихся отъ анода чрезъ отверстія въ катодѣ.



фиг. 7.

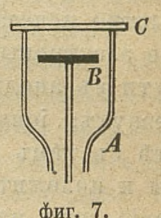
Поучителенъ и способъ возникновенія закатодныхъ лучей. Оказывается, что ихъ можно наблюдать только при извѣстномъ давленіи газа въ трубкѣ, вѣрнѣе — въ нѣкоторыхъ предѣлахъ этого давленія. Когда катодные лучи вылетаютъ изъ катода по направленію къ аноду, они разбиваютъ нѣкоторыя встрѣчающіяся молекулы; образовавшіеся іоны устремляются: отрицательные къ аноду, положительные — къ катоду. Если газъ слишкомъ разрѣженъ, катодные электроны пройдутъ до анода безъ столкновеній; въ противномъ случаѣ, важномъ именно для насъ, будетъ происходить іонизація; положительные іоны устремятся къ катоду; по инерціи они могутъ пролетѣть въ отверстіе катода и за нимъ образовать закатодные лучи. Но этого не будетъ, если разрѣженіе слишкомъ мало: тогда положительные іоны не будутъ свободно проходить чрезъ газъ передъ катодомъ, и инерція ихъ будетъ недостаточна, чтобы позволить имъ проскочить чрезъ отверстіе.

Фактъ іонизаціи посредствомъ „удара іоновъ“ будетъ положенъ въ основу объясненія нѣкоторыхъ болѣе сложныхъ явленій, которыя мы до сихъ поръ обходили, и къ знакомству съ которыми теперь переходимъ.

10. *Комбинированное дѣйствіе удара іоновъ и другихъ іонизаторовъ.*

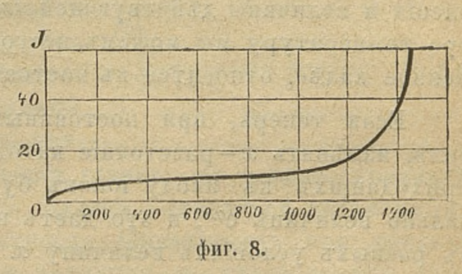
При изученіи актиноэлектрическихъ явленій приходилось исключать вліяніе окружающаго газа, чтобы установить физическую природу носителей зарядовъ. Теперь вернемся къ этому ряду явленій и остановимся именно на роли газа

Возьмемъ стеклянный сосудъ *A* (фиг. 7), въ которомъ газъ можно разрѣжать; сверху онъ закрытъ кварцевою пластинкою *C*, которая съ внутренней стороны покрыта слоемъ серебра съ рядомъ перерывовъ (отверстій). Чрезъ *C* внутрь сосуда проникаютъ ультрафіолетовые лучи и падаютъ па пластинку *B* изъ цинка, служащую катодомъ; анодомъ же служитъ серебряный слой пластинки *C*. Разстояніе между пластинками, разницу потенціаловъ между ними и давленіе газа въ сосудѣ можно регулировать; сосудъ можно наполнять разными газами.



фиг. 7.

При большихъ давленіяхъ и при малыхъ электровозбудительныхъ силахъ между пластинками наблюдается токъ, измѣряемый электрометромъ, который соединяется съ одною изъ пластинокъ. При возростаніи отъ нуля электровозбудительной силы, токъ быстро увеличивается до нѣкотораго предѣльнаго „тока насыщенія". Если затѣмъ еще далѣе увеличивать разность потенціаловъ, то наблюдается новое явленіе: кривая тока снова начинаетъ круто подниматься кверху. На приложенномъ чертежѣ, представляющемъ одну изъ такихъ кривыхъ, „насыщеніе" уже достигнуто около 600 volt, а приблизительно при 1100 volt начинается новый подъемъ. Но мы уже знаемъ, что насыщенный токъ получается, когда всѣ образующіеся іоны принимаютъ участіе въ переносѣ. Спрашивается, откуда же берутся новые іоны, которые даютъ мѣсто вторичному усиленію тока?. Высказывалось предположеніе, что они образуются ударами іоновъ, летящихъ отъ катода къ аноду; при этомъ вновь образующіеся іоны тоже устремляются отрицательные къ аноду, положитель-



фиг. 8.

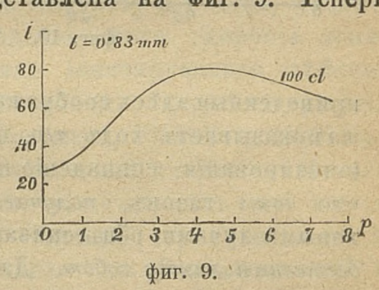
ные къ катоду; первые опять могутъ на пути разбивать встрѣчающіяся на ихъ пути молекулы; положительные іоны не обладаютъ этою способностью—при тѣхъ все еще малыхъ электровозбудительныхъ силахъ, которыми мы пользуемся.

Послѣднее утвержденіе легко доказать. Въ самомъ дѣлѣ, если остановить дѣйствіе ультрафіолетовыхъ лучей, то очень быстро исчезаетъ и всякій токъ. Это легко объяснить: послѣдніе электроны, образованные лучами на поверхности катода, по пути къ аноду разобьютъ нѣсколько молекулъ, и на анодѣ исчезнутъ; іоны разбитыхъ молекулъ тоже тамъ исчезнутъ; вмѣстѣ съ тѣмъ іонизированіе прекращается. Не то было бы, еслибы и положительные іоны разбивали молекулы: тогда іонизированіе, разъ начавшись, должно было бы продолжаться, потому что положительные іоны, образованные ударомъ, на своемъ пути къ катоду тоже будутъ іонизировать газъ. Итакъ, покуда можно принять, что іонизирующими свойствами обладаютъ только отрицательные іоны.

Пусть одинъ іонъ, пробѣгая пространство въ 1 cm., разбиваетъ на пути α молекулъ и образуетъ α паръ іоновъ; пробѣгая пространство dx, онъ разобьетъ $\alpha\, dx$ молекулъ; если въ данномъ мѣстѣ пробѣгаютъ n іоновъ, то они разобьютъ число молекулъ $dn = n\alpha dx$. Отсюда $n = n_0 e^{\alpha x}$, гдѣ n_0—число іоновъ, вылетающихъ съ катода, x—разстояніе отъ катода, n—число іоновъ въ слоѣ, имѣющемъ толщину въ 1 cm. и лежащемъ въ разстояніи x отъ катода. Здѣсь α есть функція температуры газа, давленія и величины дѣйствующей электрической силы. Впрочемъ, про температуру мы можемъ не говорить, потому что все изложенное далѣе, относится къ постоянной комнатной температурѣ.

Если теперь, при постоянныхъ давленіи и электрической силѣ, измѣнять x—разстояніе катода отъ анода, то количество приходящихъ къ аноду іоновъ будетъ измѣняться пропорціонально величинѣ $e^{\alpha x}$, и это даетъ намъ возможность опредѣлить въ разныхъ условіяхъ величину α. Теорія оказывается вполнѣ удовлетворительною: при одинаковыхъ условіяхъ для α получается одно и то же значеніе, напр. при $X = 300$ volt/cm. и давленіи 6 mm, для разныхъ разстояній α получилось $= 1{\cdot}14$ и $1{\cdot}14$; при $X = 525$, $\alpha = 1{\cdot}81$ и $1{\cdot}84$; при $X = 700$, $\alpha = 3{\cdot}47$ и $3{\cdot}53$; въ остальныхъ опытахъ (принадлежащихъ Тоунсенду) вездѣ такое же хорошее совпаденіе.

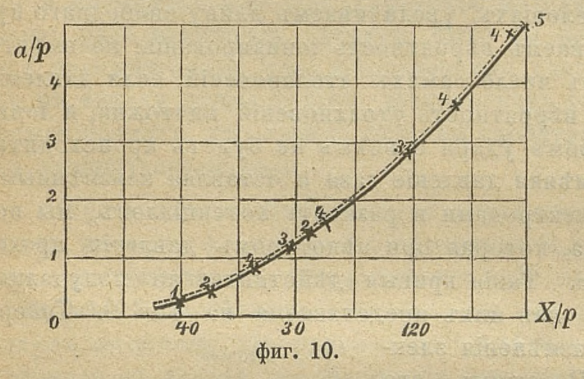
Теперь остановимся на томъ, какого характера должна быть зависимость α отъ давленія и электрической силы. Будемъ слѣдить за движеніемъ іона между молекулами. Онъ постоянно сталкивается съ ними; пусть средняя длина свободнаго пути іона будетъ a. Тогда работа, совершенная электрическими силами поля между двумя столкновеніями, равна aXe, гдѣ X—напряженіе поля, e—зарядъ іона; эта работа переходитъ въ живую силу движенія іона $mv^2/2$, такъ что $mv^2/2 = aXe$. Если длина свободнаго пути такова, чтобы пріобрѣтенная кинетическая энергія могла служить для іонизированія молекулы, встрѣченная молекула будетъ разрушена; въ противномъ случаѣ іонъ пройдетъ, не іонизируя ея. Очевидно, что уменьшая давленіе газа, мы, при прочихъ равныхъ условіяхъ, увеличиваемъ длину свободнаго пути, и тѣмъ увеличиваемъ вѣроятность іонизированія; но вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшаемъ число самихъ столкновеній: если давленіе будетъ очень мало, вѣроятность столкновеній ничтожна, и іонизированія посредствомъ удара совсѣмъ не будетъ происходить. Мы видимъ, что измѣняя давленіе газа и оставляя неизмѣнными разстояніе между электродами и разность потенціаловъ, мы получимъ кривую тока, которая при нѣкоторомъ давленіи проходитъ чрезъ maximum. Такія кривыя дѣйствительно получались Столѣтовымъ; одна изъ нихъ представлена на фиг. 9. Теперь разберемъ вліяніе измѣненія электрической силы. Положимъ, что она сдѣлалась въ n разъ больше; тогда можно всѣ свободные пути іоновъ уменьшить въ n разъ, и все-таки aXe и слѣд. $mv^2/2$ будетъ имѣть прежнюю величину. Для того, чтобы уменьшить свободный путь въ n разъ, нужно, какъ указывается въ кинетической теоріи газовъ, въ n разъ увеличить давленіе газа; при этомъ X/p будетъ оставаться неизмѣннымъ. Согласно сказанному вѣроятность іонизировать при столкновеніи будетъ имѣть прежнюю величину, но число самихъ столкновеній будетъ въ n разъ больше, такъ какъ теперь между пластинками въ n разъ больше молекулъ; величина α/p останется неизмѣнною. Итакъ при неизмѣнномъ X/p и α/p постоянно, иначе α/p есть функція только величины X/p, а не отдѣльныхъ X и p. Если всѣ полученныя изъ опытовъ вели-



фиг. 9.

чины α раздѣлить на p, и полученныя дроби откладывать на ординатахъ соотвѣтствующихъ величинъ X/p, взятыхъ какъ абсциссы, то мы должны получить одну плавную кривую.

Опыты Тоунсенда вполнѣ подтверждаютъ это предсказаніе теоріи. Для примѣра приведемъ одну изъ такихъ кривыхъ, изображающую ходъ α/p для углекислоты; при этомъ цифры около обозначенныхъ крестиками точекъ кривой показываютъ нумеръ ряда опытовъ, изъ котораго получены значенія α/p; разнымъ рядамъ соотвѣтствовало различныя давленія: 44, 20·5, 8·75, 3·9 и 1·4 mm; кривая можетъ быть продолжена и далѣе, для бóльшихъ величинъ X/p, на чертежѣ не помѣщающихся, и даетъ такое же хорошее совпаденіе съ теоріею для давленій 0·61 mm. и 0·32 mm. Тоунсендъ не остановился на случаѣ актиноэлектрическихъ явленій, а повторилъ тѣ же опыты, когда газъ между пластинками іонизировался съ помощью рёнтгеновскихъ лучей. Тамъ, mutatis mutandis, приложимы всѣ нами



фиг. 10.

приведенныя здѣсь соображенія; пунктирная кривая нашего чертежа показываетъ ходъ α/p, который соотвѣтствуетъ этому случаю іонизированія; совпаденіе прекрасное, и отсюда мы заключаемъ, что *іоны* газовъ, *получаемые любымъ способомъ* — ультрафіолетовыми лучами, рёнтгенизаціею, столкновеніемъ съ іонами—*тождественны между собою.* Дж. Дж. Томсонъ доказалъ то же самое относительно іоновъ, образующихся подъ вліяніемъ лучей радіоактивныхъ веществъ.

Здѣсь умѣстно упомянуть объ одномъ результатѣ работъ Столѣтова надъ актиноэлектрическими явленіями. Столѣтовъ первый получилъ количественные результаты, которые могутъ быть сравниваемы съ теперешними результатами Тоунсенда. Но замѣчательно, что Столѣтовъ пришелъ къ нимъ на основаніи своихъ опытовъ, совершенно независимо отъ какой-нибудь предвзятой теоріи.

Мы видѣли, что при прочихъ равныхъ условіяхъ, вполнѣ

опредѣленному давленію соотвѣтствуетъ maximum тока между пластинками. Столѣтовъ изслѣдовалъ, какимъ образомъ это „критическое" давленіе связано съ электрической силою, дѣйствующею въ пространствѣ между пластинками, и нашелъ слѣдующую законность: если p есть величина означеннаго критическаго давленія въ mm., X—сила, выраженная въ volt/cm, то p/X есть величина постоянная и равна $3{\cdot}72.10^{-2}$. Тоунсендъ нашелъ изъ своихъ опытовъ, что $p/X = 3{\cdot}80.10^{-2}$. Самая же законность теперь вполнѣ понятна: мы видѣли, что при измѣненіи p и X въ одно и то же число разъ относительная іонизація газа не измѣняется; поэтому если она достигала maximum при данныхъ давленіи, разстояніи между пластинками и разницѣ потенціаловъ, то она достигнетъ maximum при другихъ величинахъ этихъ факторовъ; только p/X должно оставаться прежнимъ.

Если мы пойдемъ далѣе и будемъ прилагать къ пластинкамъ еще бо́льшія электродвижущія силы, мы опять получимъ слишкомъ крутое поднятіе кривой тока, которое уже не объясняется столкновеніемъ съ молекулами отрицательныхъ іоновъ. Мы тогда можемъ прибѣгнуть къ гипотезѣ, что это явленіе обусловливается ударами положительныхъ іоновъ; мы видѣли, что очень быстро летящіе положительные іоны дѣйствительно обладаютъ іонизирующими свойствами. Значитъ, и теперь, увеличивая электрическую силу и вслѣдствіе того скорость движенія іоновъ, мы можемъ ожидать ихъ іонизирующаго дѣйствія. Мы не будемъ останавливаться на выводѣ соотвѣтствующихъ математическихъ выраженій (см. Townsend, Phil. Mag. 1903 Nov., p. 600), а дадимъ готовый результатъ: если x—разстояніе между пластинками, n_0—число іоновъ, вылетающихъ изъ катода, α—число молекулъ, разбиваемыхъ однимъ отрицательнымъ іономъ на пути въ 1 cm, β—то же число для положительнаго іона, тогда число іоновъ, приходящихъ къ положительной пластинкѣ, n, выразится такъ:

$$n = n_0 \frac{(\alpha - \beta)\, e^{x(\alpha-\beta)}}{\alpha - \beta\, e^{x(\alpha-\beta)}}.$$

Оказывается, что опытъ вполнѣ оправдываетъ теорію; изучая ходъ кривой тока въ воздухѣ, мы получаемъ такую таблицу: (при этомъ $p = 1$ mm. и $X = 350$ volt/cm).

x (cm)	0	2	4	6	8	10	11
i	...	2·86	8·3	24·2	81	373	2250
$e^{\alpha x}$	1	2·86	8·2	23·4	66·5	190	322
$\frac{(\alpha-\beta)e^{x(\alpha-\beta)}}{\alpha-\beta e^{x(\alpha-\beta)}}$	1	2·87	8·3	24·6	80	380	2150

Мы можемъ видѣть, что болѣе простая теорія, принимающая въ разсчетъ дѣйствіе однихъ отрицательныхъ іоновъ, представляетъ явленіе только при малыхъ разстояніяхъ между электродами, до 6 cm; тогда какъ болѣе полная теорія представляетъ явленіе на всемъ его протяженіи. Изъ опытовъ съ малыми разстояніями опредѣляемъ α, а потомъ изъ остальныхъ—β. Въ данной таблицѣ принято: $\alpha = 5·25$ и $\beta = 0·0141$. Мы видимъ, что β, какъ и слѣдовало ожидать, гораздо меньше α.

Такимъ же образомъ опредѣляютъ β и для другихъ X и p. И здѣсь оказывается, что β/p есть функція X/p и что всѣ значенія β/p лежатъ на одной кривой, если абциссами брать значенія X/p.

11. *Механизмъ самостоятельнаго разряда.*

Мы знаемъ, что при извѣстной электродвижущей силѣ между электродами разрядъ начинается самостоятельно, безъ всякаго участія посторонныхъ іонизаторовъ—въ видѣ искры или въ формѣ медленнаго разряда, какъ въ круксовскихъ трубкахъ.

Подробное изученіе этихъ двухъ явленій заняло бы слишкомъ много мѣста и поневолѣ приходится говорить только о существеннѣйшемъ.

Теорія Тоунсенда прекрасно вводитъ насъ въ кругъ этихъ явленій. Замѣтимъ, что послѣдніе изъ описанныхъ опытовъ Тоунсенда и производились имъ при такихъ высокихъ потенціалахъ, что дальнѣйшее, хотя и незначительное повышеніе потенціала влекло за собою образованіе искръ между электродами.

Если мы обратимъ вниманіе на выраженіе для n, то увидимъ, что его числитель никогда не исчезаетъ, знаменатель же

равенъ нулю, когда $\alpha = \beta e^{x(\alpha-\beta)}$, откуда $x = (\log \alpha - \log \beta)/(\alpha - \beta)$. Такъ какъ мы напередъ опредѣлили α и β для разныхъ X (напряженія поля между электродами) и p (давленій), то мы можемъ напередъ вычислить, при какомъ разстояніи x между электродами n будетъ превращаться въ безконечность. Что соотвѣтствуетъ въ дѣйствительности этому случаю?. Если $n/n_0 = \infty$, то даже въ отсутствіи посторонняго іонизатора, т. е. при $n_0 = 0$, n будетъ принимать конечные размѣры, и между электродами будетъ происходить самостоятельный разрядъ [1]; соотвѣтствующее разстояніе между электродами, x, будемъ называть *искровымъ разстояніемъ*.

Итакъ, самостоятельный разрядъ соотвѣтствуетъ тому случаю, когда большія электродвижущія силы между электродами даютъ достаточную кинетическую энергію іонамъ, чтобы они своими ударами поддерживали случайно возникшую іонизацію. Такая случайная, очень малая іонизація всегда имѣется въ газѣ, благодаря присутствію радіоактивныхъ веществъ, вліянію свѣта, температуры и т. п.

Остановимся еще на выраженіи для x — искрового разстоянія:

$$x = \frac{\log(\alpha/\beta)}{\alpha - \beta}.$$

Вспомнимъ, что $\alpha/p = f_1(X/p)$ и $\beta/p = f_2(X/p)$, откуда $\alpha = pf_1(X/p)$ и $\beta = pf_2(X/p)$; въ выраженіяхъ, стоящихъ въ скобкахъ, помножимъ на x какъ числитель, такъ и знаменатель; тогда $\alpha = pf_1(Xx/px)$ и $\beta = pf_2(Xx/px)$. Но Xx есть разница потенціаловъ между электродами или искровой потенціалъ V; а px есть масса газа между электродами (вѣрнѣе — пропорціональное ей количество) — назовемъ его m; такъ что $\alpha = pf_1(V/m)$ и $\beta = pf_2(V/m)$. Эти значенія α и β подставимъ въ выраженіе для x:

$$px = m = \frac{\log f_1(V/m) - \log f_2(V/m)}{f_1(V/m) - f_2(V/m)}$$

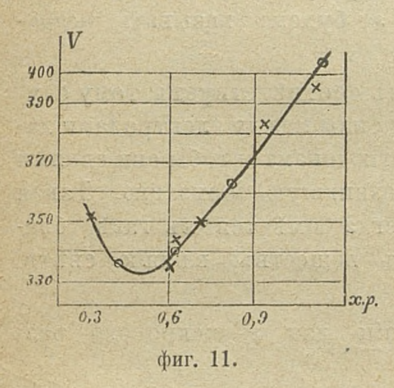
---

[1]) Мы прежде, упоминали, что самостоятельный разрядъ начнется вобще тогда, когда положительные іоны начнутъ іонизировать молекулы. Теперь видимъ, что это не вполнѣ точно.

Мы видимъ, что здѣсь V является связаннымъ только съ m, т. е. искровой потенціалъ зависитъ только отъ массы газа, заключеннаго между электродами. Если мы, напр., разрѣдимъ газъ въ два раза, а электроды раздвинемъ вдвое дальше, то искровой потенціалъ не измѣнится.

Это свойство искрового потенціала уже давно извѣстно изъ опытовъ Пашена.

Приводимъ еще чертежъ, который изображаетъ ходъ искрового потенціала въ зависимости отъ величины $m = px$, т. е. отъ массы заключеннаго между электродами воздуха. Здѣсь кружками обозначены непосредственно наблюденныя величины, а крестиками — вычисленныя по теоріи Тоунсенда изъ ранѣе полученныхъ величинъ α и β. Совпаденіе не оставляетъ желать ничего лучшаго.



фиг. 11.

Что касается до разряда въ круксовской трубкѣ, то мы, въ сущности, уже говорили о его механизмѣ, когда разъясняли образованіе закатодныхъ лучей, и не будемъ возвращаться къ этому.

Мы знаемъ еще одинъ видъ разряда въ газахъ — вольтову дугу. Насколько можно судить по имѣющимся даннымъ, существенная часть явленія разыгрывается у катода, здѣсь происходитъ нѣчто аналогичное „эдиссоновскому явленію" — потери отрицательнаго заряда при высокой температурѣ; условіе устойчивости дуги заключается въ высокой температурѣ катода.

Мы заканчиваемъ описаніе явленій электрическихъ разрядовъ въ газахъ и очеркъ теоріи этихъ явленій. Теорія эта въ настоящее время по своей важности заняла въ наукѣ первостепенное положеніе. Не говоря уже о томъ, что изложенная теорія удачно объединяетъ столь разнообразные и далекіе другъ отъ друга факты; что она позволяетъ нарисовать ясную картину очень сложныхъ явленій; что она даетъ возможность въ этой туманной до сихъ поръ области дѣлать количественныя предсказанія, оправдываемыя опытомъ, значеніе ея опредѣляется еще тѣми перемѣнами, которыя она внесла въ наши представленія о внутриатомномъ строеніи вещества; благодаря ей, мы получаемъ понятіе объ атомистической структурѣ электричества; послѣднее вновь по-

лучаетъ свойства нѣкоторой субстанціи, можетъ быть, болѣе основного значенія, чѣмъ вѣсомая матерія—эта простѣйшая, какъ считалась до сихъ поръ, субстанція; она приближаетъ насъ къ вопросу о связи между эѳиромъ и матеріею и даетъ надежду на скорое рѣшеніе этой фундаментальной физической проблемы.

Москва, Инженерное училище,
Мартъ 1904.

Радіація въ солнечной системѣ.

Дж Пойнтинга[1])

—◇—

Цѣль моей лекціи—оцѣнить дѣйствія энергіи, которую солнце непрерывно изливаетъ по всѣмъ направленіямъ и которую мы называемъ или солнечнымъ свѣтомъ, когда любуемся яркостью безоблачнаго неба, или теплотою, когда согрѣваемся ею, оцѣнить дѣйствіе той радіаціи, которая поддерживаетъ всякую жизнь на землѣ и служитъ источникомъ нашей собственной энергіи.

Какъ всѣмъ извѣстно, этотъ непрекращающійся потокъ энергіи имѣетъ форму волнообразнаго движенія. Если пучокъ солнечныхъ лучей пропустить чрезъ призму, то на экранѣ получается спектръ, каждая цвѣтная часть котораго соотвѣтствуетъ особой длинѣ волны; эта длина волны измѣряется отъ 1/30000 дюйма (для краснаго конца) до 1/80000 (для фіолетоваго).

Но этотъ видимый спектръ соотвѣтствуетъ лишь одной части потока радіаціи, именно той, которая дѣйствуетъ на глазъ· За фіолетовымъ концомъ спектра есть невидимая часть, обра-

---

[1]) Переводъ съ англійскаго: Radiation in the Solar System. Afternoon address delievered at the Cambridge meeting of the British Association, Aug. 23, by Prof. J. H. Poynting, F. R. S. (Nature, Sept. 22, 1904).

зуемая болѣе короткими волнами, дѣйствующими на чувствительную пластинку и флуоресцирующій экранъ и проходящими чрезъ нѣкоторыя тѣла непрозрачныя для обыкновеннаго свѣта. Здѣсь я имѣю „фильтръ" Вуда, задерживающій свѣтящіе лучи, но пропускающій болѣе короткія несвѣтящія волны, которыя вызываютъ флуоресценцію экрана, покрытаго ціанисто-платиновымъ баріемъ. За краснымъ концомъ спектра расположена другая невидимая часть, образуемая болѣе длинными волнами, присутствіе коихъ можно обнаружить по ихъ нагрѣвающему дѣйствію. Если пучокъ солнечныхъ лучей пропустить чрезъ тонкій слой вулканита, то задержатся всѣ короткія волны (свѣтовыя) и пройдутъ только длинныя волны; кусокъ фосфора, помѣщенный въ фокусъ этихъ несвѣтящихъ лучей, сразу вспыхиваетъ, термометръ быстро нагрѣвается здѣсь.

Изслѣдованныя до сихъ поръ волны солнечной радіаціи распредѣляются въ девяти октавахъ, начиная отъ изслѣдованныхъ Рубенсомъ длинныхъ волнъ, укладывающихся лишь въ числѣ 400 на длинѣ одного дюйма, и кончая короткими волнами, открытыми Шуманомъ въ лучахъ электрической искры внутри водорода; милліонъ такихъ волнъ укладывается на длинѣ 4 дюймовъ. Конечно, существуютъ волны и внѣ указанныхъ предѣловъ.

Лучистая энергія состоитъ изъ совокупности волнъ разной длины, но глазъ чувствителенъ лишь къ одной изъ этихъ девяти октавъ. Такія радіаціи испускаются, не только раскаленными тѣлами, какъ солнце, вольтова дуга или пламя; всякое тѣло, какъ бы нагрѣто или охлаждено оно ни было, изливаетъ лучистую энергію. Въ этой комнатѣ мы видимъ предметы, благодаря тому, что они отражаютъ дневной свѣтъ. Но, помимо этихъ заимствованныхъ лучей, каждое изъ находящихся здѣсь тѣлъ высылаетъ свои собственные лучи. Энергія изливается стѣнами, потолкомъ, поломъ; устремляясь со скоростью свѣта, она ударяетъ въ противоположныя поверхности и при этомъ отражается, разсѣивается и поглощается. И хотя эти радіаціи не дѣйствуютъ на нашъ глазъ, онѣ имѣютъ громадное значеніе, согрѣвая насъ; если бы ихъ устранить, мы были бы охвачены страшнымъ холодомъ и очень скоро замерзли бы.

По мѣрѣ повышенія температуры тѣла потокъ изливаемой имъ радіаціи усиливается въ количествѣ; но въ то же время онъ измѣняется и качественно. Каждая поверхность вѣроятно

всегда испускаетъ волны всякой длины отъ длиннѣйшихъ до кратчайшихъ, но сначала, когда она холодна, однѣ длинныя волны замѣтны; по мѣрѣ нагрѣванія поверхности напряженія всѣхъ волнъ увеличиваются, но напряженія короткихъ увеличиваются быстрѣе, и наконецъ эти волны становятся преобладающими, такъ что дѣйствуютъ на нашъ органъ зрѣнія; и тогда мы говоримъ, что тѣло раскалено до-красна или до-бѣла.

Качество лучеиспусканія зависитъ отъ природы поверхности: при одной и той же температурѣ, однѣ поверхности лучеиспускаютъ больше, другія меньше. Но всего сильнѣе лучеиспускаетъ абсолютно-черная поверхность, т. е. такая, которая поглощаетъ всякую падающую на нее радіацію; будучи нагрѣта, черная поверхность испускаетъ лучи всѣхъ родовъ; при данной температурѣ каждый родъ радіаціи черной поверхности представленъ въ полной мѣрѣ, такъ что нѣтъ поверхности, которая бы испускала лучи данной длины волны бо́льшаго напряженія, чѣмъ черная при той же температурѣ.

Простой опытъ показываетъ, что черная поверхность лучшій радіаторъ: будучи нагрѣта, она излучаетъ больше энергіи, чѣмъ поверхностъ не вполнѣ поглощающая, но отражающая часть падающей на нее радіаціи. Если платиновый листочекъ съ черными мѣтками нагрѣть до-красна, то эти мѣтки —черныя, пока платина холодна—становятся ярче окружающей поверхности, когда металлъ раскаленъ: онѣ испускаютъ болѣе свѣтящихъ лучей, чѣмъ металлъ.

Этими черными поверхностями я и займусь теперь. Но такъ какъ неудобно называть черными поверхности, когда онѣ раскалены до-бѣла, то я предпочитаю называть ихъ *полными радіаторами*; такія поверхности лучеиспускаютъ полнѣе, чѣмъ какія-либо другія.

Въ теченіе очень долгаго времени дѣлались опыты съ цѣлью установить законъ, связывающій энергію, лучеиспускаемую черною поверхностью, съ температурою послѣдней. Но лишь 25 лѣтъ тому назадъ Стéфану удалось найти такой законъ, удовлетворительно согласующійся съ результатами опыта. Этотъ законъ состоитъ въ томъ, что *потокъ энергіи пропорціоналенъ четвертой степени абсолютной температуры источника*. Это открытіе Стéфана служитъ исходною точкою новыхъ и плодотворныхъ изслѣдованій, какъ въ теоретическомъ, такъ и въ практическомъ отношеніяхъ.

Недавно Курлбаумъ опредѣлилъ количество энергіи, излучаемой въ одну секунду черною поверхностью, нагрѣтою до 100° Ц; полѣ этого—по закону Стéфана - можно знать и лучеиспусканіе при всякой другой температурѣ. Вотъ лучеиспусканіе □ cm. черной поверхности въ одну секунду:

абс. темп.		gr. cal./sec.
0°		0·0
100	(темп. кипѣнія воздуха)	0·000127
300	(темп. поверх. земли)	0·0103
1000	(темп. красн. кал.)	1·27
3000	(темп. вольт. дуги)	103
6000		1650
6250		1930

Примѣняя законъ Стéфана, найдемъ температуру солнца; при этомъ предположимъ его полнымъ радіаторомъ, т. е. положимъ, что при охлажденіи солнце стало бы абсолютно чернымъ. Мы можемъ приблизительно оцѣнить потокъ энергіи, излучаемый солнцемъ, заставляя пучокъ солнечныхъ лучей поглощаться поверхностью, измѣряя теплоту, получаемую этою поверхностью въ одну секунду, и вычисляя какую часть всего солнечнаго потока энергіи составляетъ испытуемый пучокъ. Это было впервые сдѣлано Пулье. Въ его приборѣ солнечные лучи падаютъ на сосудъ, наполненный водою; скорость нагрѣванія воды даетъ мѣру энергіи потока солнечной радіаціи, падающей на ящикъ. Какъ ни кажется простъ этотъ опытъ, но выполненіе его встрѣчаетъ большія затрудненія, изъ которыхъ главное заключается въ оцѣнкѣ той части энергіи, которую поглощаетъ атмосфера; вслѣдствіе этого мы не можемъ дать очень точнаго результата. Дѣйствительно, до сихъ поръ мы не можемъ сказать постоянно-ли истеченіе солнечной энергіи или же оно измѣняется. По всей вѣроятности оно измѣняется, и Ланглей, посвятившій этому вопросу нѣсколько лѣтъ работы, недавно получилъ явныя доказательства очень значительныхъ измѣненій. Тѣмъ не менѣе мы будемъ близки къ истинѣ, если скажемъ, что внѣ предѣловъ земной атмосферы потокъ солнечной радіаціи, падающій нормально на □ cm, въ каждую секунду нагрѣваетъ 1 gr. воды на 0·042° Ц., т. е. въ каждую секунду доставляетъ 0·042 gr.-cal.

Поверхность сферы, концентрической съ солнцемъ и проходящей чрезъ землю, въ 46000 разъ больше поверхности солн-

ца; слѣдовательно энергія, излучаемая съ одного □ cm. солнца, проходитъ чрезъ 46000 □ cm. поверхности земли; она доставляетъ 46000.0·042 = 1932 gr.-cal/sec. Но изъ приведенной выше таблицы видно, что черная поверхность въ 6250° abs. или 6000° Ц. лучеиспускаетъ 1930 gr.-cal. въ секунду; слѣдовательно поверхность солнца нагрѣта до 6000° Ц., если только солнце полный радіаторъ, что вполнѣ допустимо.

Разсмотримъ еше другое примѣненіе закона Стéфана. Вообразимъ себѣ хорошо проводящее тепло тѣло въ □ cm. поперечнаго сѣченія, помѣщенное отъ солнца въ томъ же разстояніи, какъ и земля; освѣщаемое солнечными лучами оно получаетъ 0·042 gr.-cal. въ секунду. Такое тѣло нагрѣвается до той температуры, при которой оно излучаетъ столько тепла, сколько за то же время получаетъ; а такъ какъ тѣло наше мало, то теплота быстро проходитъ съ одной его стороны на другую и оно всюду будетъ нагрѣто до одной температуры. Сфера въ 1 □ cm. поперечнаго сѣченія имѣетъ поверхность въ 4 □ cm.; поэтому съ каждаго □ cm. оно лучеиспускаетъ 0·0105 gr.-cal. въ секунду. Изъ таблицы видно, что это очень близко соотвѣтствуетъ температурѣ въ 300° abs. или 27°Ц. Надо замѣтить, что этотъ выводъ примѣнимъ лишь къ малому сферическому тѣлу. Пластинка, выставленная плашмя на солнце, нагрѣвалась бы до 60°Ц., а поставленная ребромъ къ солнцу осталась бы гораздо холоднѣе.

Найдемъ еще температуры малой черной сферы, помѣщаемой въ разныхъ разстояніяхъ отъ солнца. Легко видѣть, что такъ какъ получаемая, а слѣдовательно и теряемая теплота измѣняется обратно-пропорціонально квадрату разстоянія, температура—по закону Стéфана—будетъ измѣняться обратно-пропорціонально квадратному корню изъ разстоянія.

Вотъ таблица температуръ (t) по Цельзію въ различныхъ разстояніяхъ (r) отъ солнца:

r	t
3·7 милліоновъ миль . .	1200° (плавл. желѣза)
23 милліона миль . . .	327 (пл. свинца)
Меркурія	210 (пл. олова)
Венеры	85 (кипѣніе алкоголя)
Земли	27 (жаркій лѣтній день)
Марса	—30 (арктическій холодъ)
Нептуна	—219 (замерзаніе азота)

Изъ этой таблицы видно, что температура въ разстояніи земли замѣчательно близка къ средней температурѣ земной поверхности, которую можно считать въ 16°Ц. Это едва ли одно случайное совпаденіе. Поверхность земли получаетъ, какъ извѣстно, нѣкоторое количество тепла изнутри, но почти безконечно малое сравнительно съ тѣмъ, которое оно получаетъ отъ солнца, и потому температура земли вполнѣ зависитъ отъ солнца. Поэтому земля нагрѣвается до той температуры, при которой она лучеиспускаетъ столько тепла, сколько за то же время получаетъ отъ солнца. Земля слишкомъ велика, чтобы распредѣленіе тепла проводимостью играло замѣтную роль въ уравниваніи температуръ различныхъ частей. Но вращеніе около оси способствуетъ уравниванію температуръ различныхъ широтъ. Итакъ мы должны ожидать, что земля имѣетъ въ среднемъ приблизительно температуру малаго чернаго тѣла, помѣщеннаго въ томъ же разстояніи отъ солнца, или нѣсколько меньшую, вслѣдствіе того, что земля отражаетъ часть падающей на нее солнечной теплоты; и дѣйствительно температура земли градусовъ на 10 ниже той, которую вычислили.

Винъ первый обратилъ вниманіе на то, что температура земли имѣетъ приблизительно то значеніе, которое слѣдуетъ ожидать по закону Стефана.

Приводимъ еще среднія температуры поверхностей первыхъ четырехъ планетъ въ предположеніи, что послѣднія во всѣхъ отношеніяхъ сходны съ землею:

Меркурій. . .	196°Ц.
Венера . . .	79
Земля	17
Марсъ	−38.

Изъ этихъ планетъ всего интереснѣе Марсъ. Какъ извѣстно, онъ имѣетъ день такой же продолжительности, какъ нашъ; его ось наклонена къ эклиптикѣ лишь немного больше, чѣмъ земная; онъ окруженъ атмосферою. Трудно допустить, чтобы его средняя температура много отличалась отъ −38°Ц. Можетъ быть атмосфера Марса менѣе его предохраняетъ, такъ что на немъ дневная температура выше, но за то ночная температура ниже. Даже его высшая температура на экваторѣ не можетъ быть много выше средней. Я полагаю, что эта температура всегда градусовъ на двадцать ниже нуля и потому трудно допустить, чтобы льды, покрывающіе его полярныя страны, могли лѣтомъ таять и

наполнять водою рѣки и каналы. Если только поверхность Марса не совершенно отлична отъ земной, то она всюду охлаждена ниже 0°.

Теперь обратимся къ другимъ дѣйствіямъ волнъ, именно къ ихъ давленію.

Еще тридцать лѣтъ тому назадъ Максвелль показалъ, что по его электромагнитной теоріи свѣтовыя волны должны оказывать давленіе на встрѣчаемую ими поверхность; въ свою очередь и поверхность, которая отражаетъ или испускаетъ волны, производитъ противоположное давленіе; во всякомъ случаѣ численное значеніе этого давленія равно энергіи, заключающейся въ куб. центиметрѣ эѳира, по которому идутъ волны [1]). Существованіе этого *свѣтового давленія* было обнаружено сначала Лебедевымъ, а затѣмъ Никольсомъ и Гулемъ: на дискъ, подвѣшенный въ пустотѣ, направляли пучокъ лучей; дискъ отталкивался; силу этого отталкиванія можно было измѣрить и она оказалась какъ разъ такой величины, какъ слѣдовало по теоріи Максвелля. Такимъ образомъ теперь нѣтъ сомнѣнія, что свѣтовое давленіе существуетъ и что величина его опредѣляется закономъ Максвелля.

Итакъ волны, изливаемыя солнцомъ, не только образуютъ потокъ энергіи, но оказываютъ еще давленіе на матеріальныя тѣла, которыя онѣ встрѣчаютъ при своемъ распространеніи. Такъ какъ по мѣрѣ разсѣянія нашъ потокъ ослабѣваетъ по закону обратныхъ квадратовъ разстояній, то и давленіе на данную поверхность убываетъ по тому же закону. Мы знаемъ, что въ разстояніи земли солнечная свѣтовая энергія, перемѣщаясь со скоростью 3.10^{10} cm/sec, доставляетъ 0·04 gr.-cal. въ секунду или $0{\cdot}04.42.10^6$ erg; при этомъ на квадратный центиметръ падаетъ $3{\cdot}10^{10}$ куб. центиметровъ свѣтовой энергіи; слѣдовательно свѣтовое давленіе будетъ $0{\cdot}04.42.10^6/3.10^{10}$ erg/cm$^3 = 6.10^5$ dn/cm^2. Это давленіе столь незначительно, то даже полная сила, съ которою солнечный свѣтъ давитъ на всю землю, составляетъ лишь 70000 тоннъ; это ничтожно мало сравнительно съ силою въ три милліона билліоновъ тоннъ, съ которою солнце притягиваетъ къ себѣ землю.

Обратимъ теперь вниманіе на вліяніе размѣровъ тѣла на отношеніе силы свѣтового давленія къ силѣ тяготѣнія. Не забу-

---

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* т. 2 (1901) стр. 165 и слѣд.

демъ, что первая пропорціональна поверхности тѣла, а вторая, дѣйствующая на каждую частицу тѣла, пропорціональна его объему. Положимъ, что мы можемъ раздѣлить землю на восемь равныхъ шаровъ; каждый изъ нихъ будетъ имѣть вдвое меньшей радіусъ и въ четыре раза меньшую поверхность, чѣмъ земля; всѣ восемь шаровъ представляютъ вдвое бо́льшую поверхность, чѣмъ земля, и сила свѣтового давленія на нихъ будетъ вдвое больше чѣмъ на землю, тогда какъ сила притяженія солнцемъ остается прежняя. Затѣмъ каждый изъ этихъ шаровъ снова раздѣлимъ на восемь равныхъ шаровъ; сила свѣтоваго давленія опять удвоится, а сила притяженія солнцемъ останется опять прежняя. Продолжая подобное дѣленіе, мы, понятно, получимъ наконецъ столь малые шары и со столь большою полною поверхностью, что сила свѣтового на нихъ давленія будетъ уравновѣшивать силу притяженія ихъ солнцемъ. Простое вычисленіе показываетъ, что такое равновѣсіе наступаетъ, когда земля раздѣлена на шарики въ 1/40000 cm. діаметра каждый. Иными словами шарикъ въ 1/40000 cm. діаметра и плотности земли ни притягивается, ни отталкивается солнцемъ. Это равновѣсіе имѣетъ мѣсто во всякомъ разстояніи отъ солнца, ибо обѣ силы измѣняются по одному закону. Вычисленіе показываетъ, что если массу земли распредѣлить въ тонкій слой радіуса, равнаго радіусу орбиты Нептуна, сила солнечнаго свѣтового давленія на такой слой уравновѣшивалась бы силою солнечнаго притяженія, и потому такой слой не сжимался бы. При дальнѣйшемъ дѣленіи отталкиваніе преодолѣетъ притяженіе, и частицы будутъ удаляться отъ солнца. Но я долженъ замѣтить, что законъ отталкиванія не примѣнимъ къ очень мелкимъ тѣльцамъ; вслѣдствіе диффракцію свѣта сила отталкиванія бываетъ меньше, чѣмъ мы вычисляли выше.

Выходя изъ этихъ положеній, Бойсъ сдѣлалъ рядъ интересныхъ заключеній по отношенію къ кометнымъ хвостамъ. Мы можемъ принять, что ядро кометы состоитъ изъ малыхъ метеоритовъ; достаточно приблизясь къ солнцу, они нагрѣваются и разрываются на части, образуя туманъ, котораго прежде не было. Если этотъ туманъ состоитъ изъ достаточно мелкихъ частицъ, свѣтовое давленіе можетъ преодолѣть тяготѣніе, и тогда онъ удаляется отъ солнца, образуя кометный хвостъ.

Разсмотримъ явленіе еще съ другой стороны.

Представимъ себѣ опять черную сферу съ 1 □ cm. поперечнаго сѣченія (1·13 cm. діаметра) и плотности земли; тяготѣніе обусловливаетъ на нее силу въ 42000 разъ бо́льшую, чѣмъ свѣтовое давленіе.

Разсмотримъ теперь вліяніе размѣровъ лучеиспускающаго тѣла. Возьмемъ солнце съ вдое меньшимъ діаметромъ; тогда масса его будетъ въ 8, а поверхность въ 4 раза меньше; притяженіе его уменьшается въ 8 разъ, а сила свѣтового давленія— въ 4 раза; притяженіе все еще будетъ въ 21000 разъ больше, чѣмъ сила давленія. Если діаметръ уменьшить еще въ два раза, то притяженіе будетъ лишь въ 10500 разъ больше силы давленія. Если діаметръ солнца уменьшить въ 42000 разъ, т. е. сдѣлать его равнымъ 20 милямъ, то его притяженіе будетъ равно отталкиванію. Иными словами, солнце, также нагрѣтое, какъ наше, но съ діаметромъ лишь въ 20 миль отталкиваетъ отъ себя тѣла діаметромъ меньшимъ 1 cm. и притягивать къ себѣ бо́льшія тѣла. Но нельзя допустить, чтобы столь малое солце было нагрѣто до такой высокой температуры, какъ 6000°; примемъ что его температура въ 20 разъ меньше, именно въ 300° abs. и слѣдовательно равна температурѣ земли; тогда радіація будетъ уменьшена въ 20^4 или въ 160000 разъ; если діаметръ (= 20 милямъ) уменьшить въ 160000 разъ, т. е. сдѣлать равнымъ 20 cm., тогда опять свѣтовое давленіе уравновѣситъ тяготѣніе.

Можно доказать, что два шара плотности и температуры земли не притягиваются и не отталкиваются, т. е. ихъ лучистыя давленія уравновѣшиваются взаимнымъ тяготѣніемъ, если діаметръ каждаго изъ нихъ равенъ 6·8 cm. Надо замѣтить, что все это справедливо лишь въ томъ случаѣ, когда сферы не освѣщаются извнѣ.

Заключеніе, къ которому мы пришли, имѣетъ важное значеніе въ примѣненіи къ малымъ метеоритамъ. Вообразимъ себѣ, что въ разстояніи земли отъ солнца рѣдко разсѣяны малые метеориты; если они не больше крокетныхъ шаровъ, то не сближаются взаимно; если они меньше, то стремятся удалиться взаимно и потому разсѣиваются.

Въ заключеніе я позволю себѣ указать еще на одно дѣйствіе свѣтового давленія. Припомнимъ, что свѣтовое давленіе дѣйствуетъ назадъ—на поверхность, испускающую свѣтъ. Если такъ, то неподвижная въ пространствѣ сфера, свѣтящая равномѣрно во всѣ стороны, испытываетъ одинакія давленія со всѣхъ

сторонъ; эти давленія взаимно уравновѣшиваются. Но положимъ, что наша сфера движется; тогда энергія, излучаемая ею впередъ, тѣснится на меньшемъ пространствѣ, чѣмъ если бы сфера была въ покоѣ, и потому распредѣляется съ большею плотностью; вслѣдствіе этого и давленіе на движущееся свѣтящее тѣло спереди нѣсколько больше, и при томъ тѣмъ больше чѣмъ больше скорость и чѣмъ выше температура. Съ другой стороны энергія, излучаемая назадъ движущимся свѣтящимъ тѣломъ, распредѣляется рѣже и давленіе на такое тѣло сзади нѣсколько меньше, чѣмъ если бы оно оставалось въ покоѣ. Въ результатѣ получаемъ силу, направленную противъ движенія, силу подобную вязкому тренію, которая всегда уменьшаетъ скорость тѣла.

Вычисленіе показываетъ, что земля при своемъ движеніи по орбитѣ испытываетъ задерживающую силу въ 20 kgm. Эта сила ничтожна: въ билліонъ лѣтъ она уменьшитъ скорость земли лишь на одну милліонную и окажетъ замѣтное дѣйствіе лишь въ томъ случаѣ, если земля при теперешней температурѣ проживетъ сотни билліоновъ лѣтъ. Но и тутъ размѣры имѣютъ большое значеніе. Если уменьшать діаметръ движущагося тѣла, то замедляющее дѣйствіе въ такой же пропорціи увеличивается; такъ что, если бы земля уменьшилась до билліарднаго шара, то дѣйствіе нашей силы обнаружилось бы чрезъ сотню тысячъ лѣтъ; если бы она уменьшилась до пылинки въ 1/1000 cm. діаметромъ, то дѣйствіе этой силы обнаружилось бы чрезъ сотню лѣтъ.

Представимъ себѣ, что земля выбрасываетъ изъ себя мелкія частицы, которыя затѣмъ самостоятельно обращаются около солнца; онѣ нагрѣваются солнцемъ и лучеиспускаютъ во всѣ стороны. На своемъ пути эти частицы встрѣчаютъ силу сопротивленія, которая стремится остановить ихъ. Но вмѣсто такого дѣйствія, сопротивленіе способствуетъ солнцу приблизить къ себѣ частицы, которыя при этомъ падаютъ съ возростающею скоростью. Это увеличеніе скорости вызываетъ возростаніе сопротивленія и въ то же время приближеніе къ солнцу повышаетъ ихъ температуру, что усиливаетъ сопротивленіе, а это опять увеличиваетъ треніе и т. д. Поэтому частица будетъ двигаться все скорѣе и скорѣе по спиральной орбитѣ, пока не достигнетъ солнца. Малые метеориты размѣрами въ билліардные шары съ разстоянія земли падаютъ такимъ образомъ на солнце въ нѣсколько милліоновъ лѣтъ.

Такимъ образомъ солнце непрестанно расчищаетъ окружающее его пространство отъ засоренія: очень мелкія тѣльца оно отбрасываетъ въ наружное пространство, а бо́льшія тѣла притягиваетъ къ себѣ. Очень воможно, что такой процессъ мы наблюдаемъ въ зодіакальномъ свѣтѣ, въ этомъ огромномъ туманномъ кольцѣ, которое простирается далеко за земную орбиту и которое до сихъ поръ представлялось однимъ изъ наиболѣе таинственныхъ членовъ солнечной системы.

Модели по кинетической теоріи газовъ

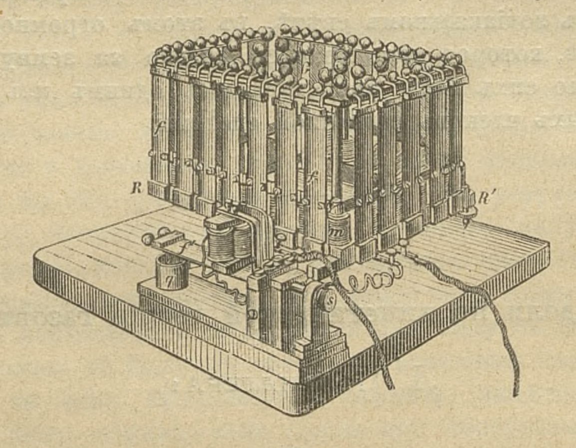
Л. Пфаундлера [1]).

Описываемые ниже приборы для воспроизведенія тѣхъ механическихъ процессовъ, которые лежатъ въ основѣ нашихъ представленій кинетической теоріи тепла, имѣютъ конечно большее значеніе для преподаванія, чѣмъ для развитія науки; однако, я полагаю, что приборы, демонстрирующіе такіе физическіе процессы, которые недоступны непосредственному наблюденію, имѣютъ и научную цѣнность: помогая нашему воображенію, они расширяютъ наши научныя представленія. Такое вліяніе въ свое время оказала волновая машина Феселя для поляризаціи свѣта. По словамъ Лоджа модель вращенія плоскости поляризація въ магнитномъ полѣ дала Максвеллю поводъ составить свою теорію свѣта. Выдающіеся физики трудятся надъ изобрѣтеніемъ подобныхъ моделей; не слѣдуетъ-ли отсюда заключить, что онѣ имѣютъ значеніе не для одного учителя, но представляетъ интересъ и изслѣдователю. Укажу на многочисленныя моделя Лоджа для разъясненія электрическихъ процессовъ, на больцмановскую модель циклическаго движенія, на волновую машину Ма-

---

[1]) Apparate zur Versinnlichung der Kinetischen Wärmetheorie von *Leop. Pfaundler*.

ха и др. Несмотря на глубокомысленныя изслѣдованія Больцмана, Егера и др., кинетическая теорія газовъ въ настоящую минуту отодвинута на второй планъ; но это не останавливаетъ меня описать относящіяся до нея модели, ибо я убѣжденъ, что



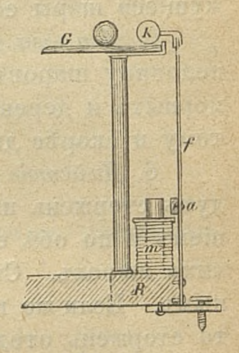
фиг. 1.

эта теорія сохранится въ наукѣ, пока существуетъ атомная теорія; а сейчасъ не предвидится, чтобы можно было обойтись безъ этой теоріи или чтобы ее можно было замѣнить чѣмъ-нибудь лучшимъ.

1. *Модель состоянія газа.*

Къ прямоугольной желѣзной рамѣ RR' (фиг. 1), стороны которой имѣютъ 20 и 30 cm., привинчены до 24 стальныхъ пластинокъ f, f, къ верхнимъ концамъ коихъ прикрѣплены по два металлическихъ шарика KK (12 mm. діаметра); всѣ эти шарики расположены по периферіи прямоугольника. Къ стальнымъ пластинкамъ на внутреннихъ ихъ сторонахъ, въ растояніи 4 cm отъ нижнихъ концовъ, прикрѣплены кусочки желѣза a, a (фиг. 2), противъ которыхъ расположены полюсы электромагнитовъ m, которые всѣ соединены послѣдовательно и намагничиваются токомъ отъ пяти аккумуляторовъ. Фиг. 2 представляетъ вертикальный разрѣзъ прибора. Отдѣльно расположенною пластинкою f' (фиг. 1), снабженною ртутнымъ контактомъ и колебающеюся съ тѣмъ же періодомъ, какъ и остальныя пластинки (винтомъ s длина этой

пластинки можетъ быть регулирована), токъ въ приборѣ періодически замыкается и размыкается; вслѣдствіе этого пластинки f, f приходятъ въ сильныя колебанія. Нѣсколько ниже плоскости шаровъ K расположена толстая стеклянная пластинка G; шары K заходятъ за края этой пластинки.



фиг. 2.

Съ описаннымъ приборомъ можно показать слѣдующее:

1. *Движеніе однородныхъ частицъ газа, заключеннаго въ сосудъ съ нагрѣтыми стѣнками.* На стекло помѣщаютъ около 20 мраморныхъ шариковъ одной величины. При своихъ движеніяхъ взадъ и впередъ краевые шары ударяютъ въ мраморные шарики; вслѣдствіе этого послѣдніе приходятъ въ движеніе, часто сталкиваясь одинъ съ другимъ. Потеря въ живой силѣ, обусловливаемая треніемъ, пополняется непрерывными ударами краевыхъ шаровъ, такъ что вскорѣ наступаетъ стаціонарное состояніе, при которомъ средняя живая сила въ теченіе долгаго времени остается постоянною; съ измѣненіемъ тока она можетъ быть нѣсколько увеличена или уменьшена. При этомъ можно хорошо наблюдать, какъ отдѣльные шарики принимаютъ различнѣйшія скорости. Если слѣдить за однимъ шарикомъ, окрашеннымъ въ особый цвѣтъ, то видно, что онъ очень рѣдко совершаетъ безпрепятственно весь путь отъ одного края доски до другого; средній же путь вслѣдствіе столкновеній гораздо короче. Легко убѣдиться, что въ теченіе продолжительнаго времени всѣ краевые шарики одинаково часто испытываютъ удары.

2. *Газъ, находящійся при абсолютномъ нулѣ, постепенно нагрѣвается стѣнками сосуда.* Прервавъ токъ, собираютъ всѣ шарики на серединѣ стекла (которое помѣщается совершенно горизонтально); затѣмъ краевые шарики приводятъ въ колебаніе и одинъ изъ шариковъ толкаютъ къ краю: онъ передаетъ движеніе всѣмъ шарикамъ, которые въ теченіе нѣсколькихъ секундъ приходятъ въ стаціонарное движеніе.

3. *Осѣданіе паровъ.* Прикладывая руку къ нѣсколькимъ краевымъ шарикамъ, задерживаютъ ихъ движенія, что соотвѣтствуетъ ихъ охлажденію; тотчасъ же вблизи нихъ собираются свободно движущіеся шары и здѣсь успокаиваются.

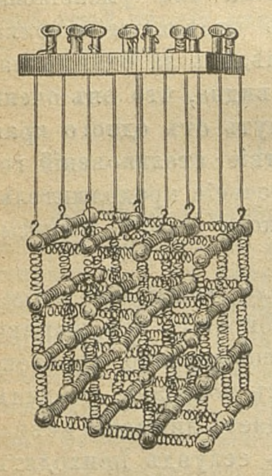
4. *Диффузія.* Берутъ шары, изъ коихъ одна половина окрашена въ красный цвѣтъ, другая—въ зеленый, и располагаютъ первые на одной половинѣ стекла, вторые на другой половинѣ; какъ скоро краевыя шарики начинаютъ качаться, свободно движущіеся шары совершенно перемѣшиваются.

5. *Два газа различныхъ молекулярныхъ вѣсовъ.* Берутъ одну половину шаровъ стальныхъ, другую—мраморныхъ (или мраморныхъ и деревянныхъ); болѣе легкіе движутся быстрѣе, а потому и скорѣе диффундируютъ въ болѣе тяжелые.

6. *Дѣйствіе поршня.* По серединѣ стеклянной пластинки кладутъ стержень изъ упругого матеріала съ квадратнымъ сѣченіемъ и по обѣ его стороны помѣщаютъ равныя числа одинакихъ шаровъ. Стержень (поршень) остается почти неподвижнымъ. Если-же по одну сторону стержня прибавить шаровъ, то стержень отодвигается къ другой сторонѣ.

1. *Модель теплового движенія въ твердомъ тѣлѣ.*

Нѣкоторое число свинцовыхъ шаровъ соединены взаимно пружинными спиралями, какъ на фиг. 3, и все подвѣшено на нитяхъ.



фиг. 3.

1. *Движеніе цѣлаго тѣла (стройное движеніе).* Легкимъ ударомъ ладони можно все тѣло привести въ качанія, при чемъ отдѣльные шары не приходятъ въ замѣтныя колебанія.

2. *Развитіе тепла ударомъ, внутренняя теплопроводность.* Если одинъ изъ шаровъ сильно ударить, то его движеніе быстро распространяется по всему тѣлу и приводитъ всѣ шары въ продолжительныя колебанія около своихъ положеній равновѣсія, при чемъ само „тѣло“ остается въ покоѣ.

3. *Внѣшняя теплопроводность.* Такимъ образомъ нагрѣтое тѣло передаетъ часть своего теплового движенія второму тѣлу, съ которомъ приведено въ соприкосновеніе.

Подобно тому, какъ хромаетъ всякое сравненіе, такъ хромаетъ и всякая модель. Мы не можемъ напримѣръ помѣшать

тому, чтобы движеніе шаровъ не затухало вслѣдствіе внутренняго тренія; но тогда ихъ живая сила дѣйствительно превращается въ теплоту, тогда какъ живая сила частицъ не можетъ превращаться въ теплоту, такъ какъ она сама должна разсматривать ся, какъ теплота.

Подражать тепловому движенію въ жидкостяхъ было бы труднѣе.

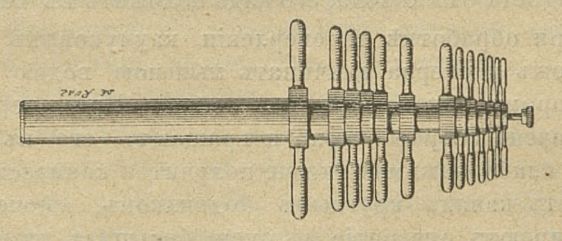
Механическая мастерская при физическомъ кабинетѣ.

А. А. Трусевича.

V. Обработка пробки, каучука и проч. Сборка и разборка приборовъ.

35. *Пробку* хранятъ во влажномъ и прохладномъ мѣстѣ (напр. въ подвалѣ); передъ употребленіемъ пробку разминаютъ, прокатывая ее на столѣ при помощи доски или сжимая въ деревянной пробкомялкѣ.

36. Инструментами для обработки пробки служатъ: 1) ножъ для рѣзанія пробки, 2) наборъ сверлъ (фиг. 60) съ діаметромъ отъ 3 до 25 mm. и 3) подпилки круглые и плоскіе.



фиг. 60.

Ножъ точатъ на песчанникѣ, не выправляя на другомъ камнѣ. Сверла затачиваютъ при помощи подпилка или особаго ножа.

Сверло окунаютъ въ талькъ, ставятъ перпендикулярно къ поверхности пробки, слегка нажимаютъ и вращаютъ только въ одну сторону; когда сверло дойдетъ почти до конца пробки,

послѣднюю опираютъ на другую пробку и оканчиваютъ сверленіе (иначе пробка прорывается). Расширяютъ и выглаживаютъ отверстія въ пробкѣ при помощи круглыхъ подпилковъ.

Толщину пробки уменьшаютъ или плоскимъ подпилкомъ или же срѣзкою острымъ ножомъ. Послѣднюю операцію совершаютъ такъ: ножъ упираютъ въ столъ и передъ нимъ вращаютъ пробку, снимая тонкую, но по возможности непрерывную стружку; обработку оканчиваютъ подпилкомъ.

37. *Парафинировать пробку.* Пробку погружаютъ въ расплавленный парафинъ (не нагрѣвать выше 110° или 120°Ц.) и держать тамъ, пока не перестанутъ выдѣляться пузырьки воздуха; затѣмъ оставляютъ пробку охладиться внутри парафина, чтобы давленіемъ атмосферы всѣ поры пробки заполнились парафиномъ.

38. *Суберитъ* (масса, спресованная изъ мелкихъ кусковъ пробки и соединительнаго цемента) вполнѣ замѣняетъ пробку, не имѣетъ пустотъ; продается листами разной толщины (отъ 1 до 30 mm.); обработывается также, какъ и обыкновенная пробка.

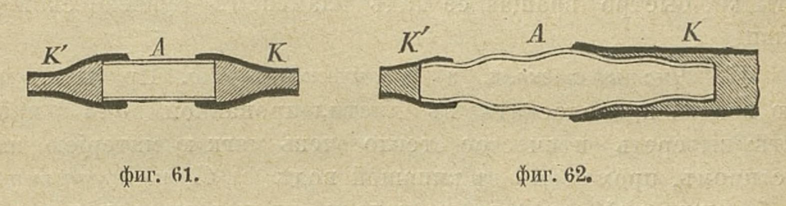
39. *Каучукъ* употребляется въ видѣ пробокъ, трубокъ и пластинъ (тонкія пластины отъ подмышечниковъ, еще болѣе тонкія отъ игрушечныхъ воздушныхъ шаровъ, такъ называемыхъ пищалокъ). Каучукъ измѣняется подъ вліяніемъ воздуха и свѣта; поэтому его сохраняютъ въ закрытомъ сосудѣ и въ темнотѣ. Если каучуковыя пробки начинаютъ твердѣть, ихъ слѣдуетъ на нѣсколько дней опустить въ слабый растворъ амміака. Если каучукъ затвердѣетъ отъ холода, его надо положить въ теплую воду.

40. При обработкѣ и сверленіи каучуковыхъ пробокъ и пластинъ ножъ и сверла смачивать мыльною водою или крѣпкимъ растворомъ ѣдкаго кали или натра. При сверленіи употребляютъ очень острое сверло и вращаютъ его въ одну сторону, лишь слабо нажимая (иначе получится коническій каналъ). Выглаживаютъ каналъ круглымъ подпилкомъ, смоченнымъ водою. Расширяютъ отверстіе до очень большихъ размѣровъ при помощи сильно нагрѣтаго желѣзнаго прута, послѣ чего липкую поверхность дыры запудрить талькомъ.

41. *Склеиваніе каучука.* Склеиваемыя поверхности очищаютъ стеклянною бумагою, протираютъ бензиномъ, смазываютъ растворомъ каучука въ бензинѣ (продажнымъ растворомъ для починки велосипедныхъ шинъ), даютъ слегка подсохнуть, скла-

дываютъ, сжимаютъ и даютъ совершенно высохнуть. Такимъ образомъ склеиваютъ двѣ каучуковыхъ пластины, накладываютъ заплаты на каучуковые мѣшки и т. п.

42. Новыя каучуковыя трубки слѣдуетъ протереть между руками и продуть для удаленія слоя талька, покрывающаго внутреннюю поверхность. При надѣваніи каучуковой трубки на стеклянную, полезно предварительно послѣднюю смочить. Двѣ каучуковыхъ трубки K и K' (фиг. 61) одного діаметра стыкаются при помощи небольшого куска стеклянной трубки, A, наружный діаметръ которой немного больше внутренняго діаметра каучуковыхъ трубокъ. Если же стыкаются двѣ каучуковыхъ трубки раз-



фиг. 61. фиг. 62.

личныхъ діаметровъ, то употребляютъ отрѣзокъ стеклянной трубки, суживающейся къ обоимъ концамъ и снабженной по своей длинѣ рядомъ вздутій (фиг. 62).

43. *Твердый или роговой каучукъ* обрабатывается подобно металлу (на токарномъ станкѣ, подпилкомъ и пилою для металловъ).

Съ теченіемъ времени поверхность твердаго каучука дѣлается проводящею для токовъ высокаго напряженія. Для возстановленія изолирующей способности каучука (въ кругахъ электрической машины, подставкахъ, ручкахъ и т. д.) поверхность его освѣжаютъ стеклянною бумагою.

Выставленный на солнце твердый каучукъ размягчается и гнется; для выпрямленія и сгибанія пластинъ и трубокъ изъ твердаго каучука, ихъ размягчаютъ, нагрѣваютъ до 100°, придаютъ желаемую форму и такъ даютъ остыть.

44. *Согнуть металлическій стержень и трубку.* Желѣзо сгибается, когда накалено до темно-краснаго цвѣта. Латунь сгибается холодная, но не сразу, а въ нѣсколько пріемовъ; въ промежуткахъ накаливать до темно-краснаго цвѣта. Латунную проволоку (до 0·5 cm. діаметра) сгибаютъ въ S вокругъ стержня (діам. 1·5 cm.), зажатаго въ тиски.

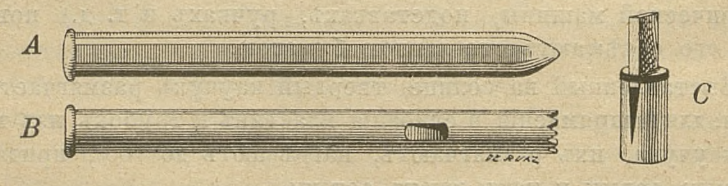
При сгибаніи металлической трубки можно избѣжать сплющиванія наполненіемъ ея пескомъ или заливъ расправленнымъ свинцомъ.

45, *Выпрямить латунную трубку.* Въ патронъ, надѣтый на пустой шпиндель, вставляютъ трубку, которую настолько слабо зажимаютъ, что рукою можно помѣшать ей вертѣться. Приводятъ станокъ во вращеніе, а трубку удерживаютъ неподвижною; затѣмъ трубку медленно вводятъ въ пустой шпиндель: щеки патрона, вращаясь около трубки, даютъ ей совершенно правильную форму.

46. *Вынуть притертую пробку.* Слегка нагрѣть горлышко бутылки, быстро вращая ее надъ пламенемъ бунзеновской горѣлки.

47. *Чистка стеколъ.* а) *Оптическое стекло.* Промыть мыльною водою, прополоскать въ дистиллированной водѣ и просушить; вытереть оптическое стекло очень мягкою матеріею, напр. муслиномъ, промытомъ въ кипящей водѣ. b) *Стеклянныя трубки.* Въ большинствѣ случаевъ достаточно прополоскать водою и вытерѣть бумажнымъ тампономъ (изъ фильтровальной или шелковой бумаги), который привязываютъ на нить и протаскиваютъ чрезъ трубку. Если трубка загрязнена ртутью, то ее на нѣсколько часовъ погружаютъ въ азотную кислоту.

Для тщательной очистки стекла его послѣдовательно погружаютъ въ растворъ марганцово-каліевой соли, въ царскую водку и въ амміакъ, а въ промежуткахъ промываютъ въ дистиллированной водѣ; по окончаніи тоже промываютъ въ дистиллированной водѣ.



фиг. 63.

Если стекляный приборъ долженъ быть высушенъ, то пропускаютъ токъ воздуха, предварительно профильтрованный чрезъ вату.

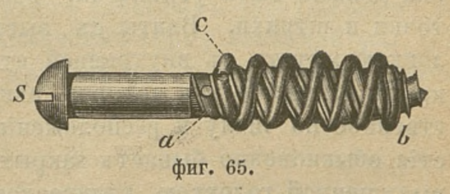
48. *Укрѣпленіе въ каменной стѣнѣ.* При помощи пробойника выбиваютъ дыру въ стѣнѣ. Пробойники бываютъ сплошные

(фиг. 64, *A*) и трубчатые (*B*); послѣдніе дѣлаются изъ куска газовой трубки, одинъ конецъ которой зазубренъ, а въ серединѣ сдѣлано небольшое отверстіе. Приставивъ заостренный или зазубренный конецъ пробойника къ стѣнѣ, по другому концу ударяютъ молоткомъ (фиг. 64); послѣ каждаго удара молоткомъ пробойникъ немного повертываютъ около его оси. Когда дыра, такимъ образомъ выбитая, достигнетъ нужной глубины (отъ 4 до 5 cm.), въ нее вбиваютъ деревянную пробку, которую затѣмъ срѣзаютъ вровень со стѣною. Въ круглую дыру можно вставить пробку, состоящую изъ деревяннаго цилиндра, надколотаго по серединѣ и обтянутаго съ одного конца желѣзнымъ обручемъ (фиг. 63, *C*); въ разрѣзъ цилиндра вставлена дощечка, которую затѣмъ вгоняютъ въ пробку; вслѣдствіе этого пробка вполнѣ раскалывается и расширяется внутри стѣны. Къ такой пробкѣ, очень крѣпко держащейся въ стѣнѣ, предметъ можно привинтить или прибить гвоздемъ.



фиг. 64.

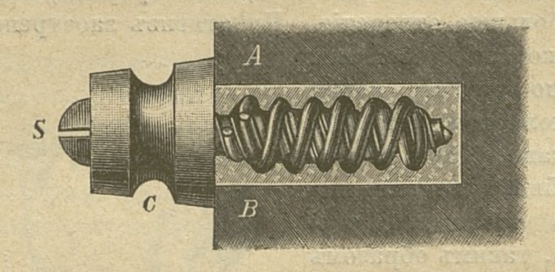
Другой способъ укрѣпленія винта въ стѣнѣ заключается въ слѣдующемъ. Шурупъ *S* (фиг. 65) обвертываютъ проволокою *ab*, укладывая ее въ нарѣзку, а затѣмъ навиваютъ въ другую сторону (*bc*). Такую двойную проволочную спираль вмѣстѣ съ шурупомъ всаживаютъ въ гипсъ, которымъ наполнена дыра, *B* (фиг. 66), выбитая въ стѣнѣ *A*, и когда гипсъ подсохнетъ, шурупъ вывинчивается, при чемъ проволочная спираль остается въ стѣнѣ и служитъ въ качествѣ гайки, въ которую можно опять ввинтить шурупъ. Послѣ этого къ стѣнѣ можно шурупомъ прикрѣпить какой-нибудь предметъ, напримѣръ изоляторъ *C*.



фиг. 65.

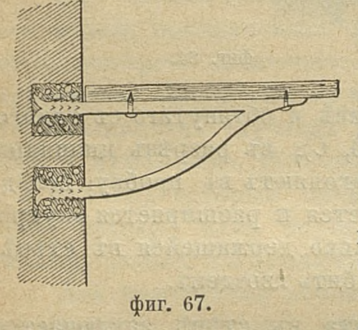
Въ небольшой дырѣ, выбитой пробойникомъ въ стѣнѣ, можно укрѣпить металлическую полосу. Дыру предварительно смачиваютъ, затѣмъ набиваютъ жидкимъ алебастромъ, въ который

впускаютъ укрѣпляемую полосу (тоже предварительно смоченную); поправляютъ алебастръ, въ который впихиваютъ смочен-



фиг. 66.

ные куски кирпича. На фиг. 67 представлена такимъ образомъ укрѣпленная консолька.



фиг. 67.

49. *Разборка прибора.* При разборкѣ прибора надо имѣть въ виду, что всѣ части его, или по крайней мѣрѣ большинство, какъ напр., винты, гайки, шайбы, цапфы и проч. при сборкѣ прибора не могутъ быть поставлены одна на мѣсто другой; поэтому при постройкѣ инструмента мастеръ отмѣчаетъ одинаковыми условными знаками, какъ отдѣльную часть, такъ и то мѣсто, въ которомъ она должна быть укрѣплена. Употребительныя отмѣтки: цифры, точки и штрихи. Винты съ выступающей цилиндрическою головкою мѣтятъ съ внутренней стороны головки точками, и вокругъ отверстія, въ которое ввинченъ винтъ, ставятъ тождественное по числу и расположенію число точекъ (мѣтка отверстія обыкновенно бываетъ закрыта головкою винта). Винты съ выпущенной головкою, коническою, отмѣчаютъ тоже точками, но на верхней поверхности головки; отверстіе же отмѣчаютъ также, какъ и въ первомъ случаѣ. Очевидно, что въ случаѣ винта съ выступающею головкою отмѣтки не видны до освобожденія винта, въ случаѣ же впущенной головки видны. Гайки отмѣчаютъ точно также, какъ и винты съ выступающею головкою; точки ставятъ на видномъ концѣ болта; отверстіе же, въ которое входитъ болтъ, отмѣчаютъ подъ гайкою. Большіе винты и гайки мѣтятъ цифрами, обыкновенно на верхней поверхности.

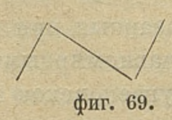
Положеніе двухъ наложенныхъ другъ на друга круговъ (шайбъ) отмѣчаютъ штрихомъ, проведеннымъ по ихъ общей боковой поверхности или, въ случаѣ неравенства ихъ, по боковой наименьшей и по основанію на бо́льшей.

Мелкія части прибора мѣтятъ цифрами; большія же, въ особенности чугунныя—глубокими точками, выбитыми на прилегающихъ другъ къ другу частяхъ. Надо прибавить, что чугунныя и желѣзныя составныя части почти всегда бываютъ отмѣчены точками въ виду трудности набивки на нихъ цифръ.

Принимая во вниманіе вышесказанное, надо прежде, чѣмъ приступить къ разборкѣ прибора, или же въ началѣ разборки, внимательно изучить систему мѣтокъ. Въ случаѣ отсутствія таковыхъ рекомендуется раскладывать части прибора въ соотвѣтственномъ порядкѣ на столѣ, винты же по возможности ввинчивать двумя—тремя оборотами въ свои мѣста.

Винты съ прорѣзомъ вывинчиваютъ при помощи отвертки; послѣдняя по своей ширинѣ должна по возможности близко отвѣчать діаметру головки; надо имѣть большой выборъ отвертокъ. Отвертка должна быть стальная, довольно сильно отпущенная, въ сѣченіи имѣть профиль, указанный на фиг. 68. Острыя отвертки легко вызубливаются и портятъ винты. При вывинчиваніи и ввинчиваніи надо сильно ладонью прижимать отвертку къ винту, а вращеніе производить пальцами, въ противномъ случаѣ отвертка легко выскакиваетъ изъ нарѣза и разворачиваетъ его края. Винты съ отверстіями въ головкѣ отвинчиваютъ стальнымъ (отпущеннымъ до малиноваго цвѣта) штифтомъ, имѣющимъ форму ломанной (фиг. 69). Если винтъ сильно застрялъ, кругомъ его головки надо пустить

фиг. 68.



фиг. 69.

нѣсколько капель минеральнаго смазочнаго масла и нагрѣть его, если возможно, прямо на огнѣ со всей частью прибора, если же это неудобно, то раскалить соотвѣтственный кусокъ желѣза и приложить его на нѣкоторое время къ головкѣ. Отъ нагрѣванія разжижается сгустившееся масло или сало, которымъ былъ смазанъ винтъ при сборкѣ. Послѣдній способъ употребляется и для вывинчиванія шуруповъ.

Гайки шестигранныя и четырехгранныя отвинчиваютъ при помощи подходящихъ ключей (полезно имѣть нѣкоторый запасъ разныхъ размѣровъ) или при помощи такъ называемаго французскаго раздвижного ключа; въ послѣднемъ случаѣ ножки ключа надо раздвинуть какъ разъ по головкѣ съ очень небольшимъ зазоромъ; въ случаѣ слишкомъ широко раздвинутыхъ ножекъ ключъ при усиліи можетъ легко соскочить съ грани и испортить ребра гайки.

Гайки цилиндрическія съ двумя отверстіями отвинчиваютъ при помощи подходящаго ключа или, за неимѣніемъ таковаго, при помощи ножекъ токарнаго (слесарнаго) пружиннаго циркуля или круглогубцевъ. Крѣпко застрявшія гайки обильно смазываютъ масломъ и чрезъ нѣкоторое время пробуютъ освободить; въ случаѣ неудачи слегка подогрѣваютъ.

Двѣ слипшіяся поверхности отдѣляютъ, осторожно вгоняя между нихъ ножъ; въ случаѣ неудачи пускаютъ вокругъ линіи раздѣла масло и, подождавъ нѣсколько времени, вводятъ ножъ; подогрѣваніе ускоряетъ дѣло.

Краны освобождаютъ, отвинтивъ придерживающій винтъ и шайбу (кружокъ). Застрявшіе (не вращающіеся краны) выбиваютъ слегка поколачивая молоткомъ по оси крана по болѣе тонкой задней его поверхности, приложивъ къ концу крана кусочекъ твердаго дерева, опирающійся *только* въ кранъ; предварительно конечно отвинчиваютъ винтъ и снимаютъ шайбы. При очень сильно засѣвшихъ кранахъ, осторожное нагрѣваніе ускоряетъ и облегчаетъ работу. Поршни и вообще кожанныя части, какъ-то прокладки и проч., крѣпко прилипшіе, отмачиваютъ предварительно керосиномъ или скипидаромъ.

Стеклянныя части, вмазанныя при помощи сургуча, освобождаютъ осторожнымъ и равномѣрнымъ по всей ихъ поверхности нагрѣваніемъ надъ бунзеновскою горѣлкою или спиртовою лампою, вращая и передвигая ихъ высоко надъ пламенемъ и приближая къ послѣднему по мѣрѣ нагрѣванія стекла. Въ затруднительныхъ случаяхъ, какъ напр. большія стеклянныя, шлифованныя, матовыя, граненыя и проч. поверхности, легко лопающіяся отъ нагрѣванія, отмачиваютъ сургучъ или вообще смоляную замазку въ теченіе нѣсколькихъ дней скипидаромъ, приливая послѣдній по мѣрѣ его высыханія. Этотъ пріемъ особенно удобенъ при отдѣленіи стеклянной тарелки насоса отъ

металлической части. Если чрезъ 2—3 дня замазка не размягчится въ достаточной степени, полезно слегка нагрѣть стекло. Части, вмазанныя суриковою замазкою, вообще отдѣляются трудно; болѣе легкому отдѣленію способствуетъ продолжительное (отъ 3 до 15 дней, смотря по величинѣ склееныхъ поверхностей), отмачиваніе въ скипидарѣ.

Нѣкоторыя части приборовъ, какъ-то зубчатыя колеса, шкивы, блоки, прикрѣпляются къ оси при помощи чеки; чека бываетъ обыкновенно слабо коническая; при выбиваніи ея слѣдуетъ ударять по болѣе тонкому концу.

Нѣкоторыя части приборовъ, какъ напримѣръ металлическія пробки, клеммы электрическихъ приборовъ; приспособлены для отвинчиванія ихъ рукой и снабжены поэтому накатанными краями (мелкіе зубцы по краю). Если такая часть не можетъ быть отвинчена непосредственно рукою, то края ея надо зажать крѣпко въ тиски, подложивъ между губками тисковъ и приборомъ пластинки изъ свинца или цинка, чтобы не попортить краевъ, и въ такомъ положеніи отвинчивать.

50. *Чистка прибора.* Желѣзныя, стальныя, чугунныя, латунныя и мѣдныя полированныя и шлифованныя части очищаютъ отъ ржавчины вымачиваніемъ въ керосинѣ и затѣмъ крѣпкимъ вытираніемъ вазелиномъ.

Латунныя и мѣдныя лакированныя части (золотистый цвѣтъ латуни въ приборахъ обусловливается тонкимъ слоемъ спиртового подкрашеннаго въ желтый цвѣтъ лака, поэтому слѣдуетъ избѣгать обливать эти части спиртомъ), захватанныя руками, покрытыя застывшимъ масломъ, саломъ и проч. оттираютъ ватою съ вазелиномъ и затѣмъ насухо протираютъ мягкою льняною тряпочкою. Серебряныя нелакированныя части протираютъ ватою или кисточкою, смоченною растворомъ ціанистаго калія (осторожно—очень сильный ядъ), и затѣмъ чистою водою.

Шкалы нарѣзаютъ обыкновенно на латуни, штрихи затираютъ расплавленнымъ сургучемъ, затѣмъ серебрятъ и покрываютъ при нагрѣваніи тонкимъ слоемъ лака. Отъ употребленіи лакъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ скалывается и мѣста эти чернѣютъ. Чтобы обновить испорченную шкалу поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Осторожно, чтобы не растворить сургуча, протираютъ шкалу ватою, смоченною спиртомъ, затѣмъ мягкою пробкою или пальцемъ натираютъ шкалу слѣдующею пастою:

8 gr. азотнокислаго серебра растворяютъ въ небольшомъ количествѣ воды, затѣмъ приливаютъ раствора поваренной соли до тѣхъ поръ пока не прекратится осажденіе хлористаго серебра; даютъ осадку отстояться, сливаютъ растворъ и послѣдовательнымъ приливаніемъ и осторожнымъ сливаніемъ воды промываютъ его; растворяютъ 16 gr. ціанистаго (90%) калія въ возможно маломъ количествѣ воды и приливаютъ къ хлористому серебру; по растворени послѣдняго прибавляютъ отмученнаго мѣла до густоты желтаго вазелина. Паста эта очень ядовита; надо обращать вниманіе, чтобы на рукахъ не было царапинъ и заусеницъ. Протеревъ пастою шкалу, отчего она наново посеребрится, тщательно промываютъ ее водою, насухо вытираютъ и, нагрѣвъ до 50—60°, кроютъ одинъ разъ при помощи плоской мягкой кисти изъ бобрового волоса обыкновеннымъ продажнымъ спиртовымъ безцвѣтнымъ лакомъ; кисть должна быть не сильно смочена, почти суха, и приводить надо концами волосъ по шкалѣ, не нажимая кисти.

Деревянныя полированныя части очищаютъ, натирая ихъ ватою, смоченною растворомъ 5 ч. воска и 0·5 ч. лавандоваго масла въ 100 ч. бензина и протирая затѣмъ досуха льняною тряпочкою.

Стеклянные сосуды, запачканые ртутью, промываютъ царскою водкою и затѣмъ водою. Для механическаго удаленія прилипшихъ частицъ, въ сосудъ наливаютъ немного воды и накладываютъ мелкихъ обрывковъ фильтровальной бумаги, такъ чтобы при энергичномъ взбалтываніи получилось жидкое тѣсто изъ бумаги; продолжительное взбалтываніе сосуда съ этою смѣсью обыкновенно начисто очищаетъ стѣнки; мыть сосуды водою съ пескомъ не слѣдуетъ: на стеклѣ получаются царапины и сосудъ часто легко лопается въ особенности при нагрѣваніи.

Кожанныя части очищаютъ отъ сала и масла вымачиваніемъ въ керосинѣ, затѣмъ хорошо отжимаютъ и оставляютъ на открытомъ воздухѣ дня на два для просушки.

51. *Сборка и смазка.* При сборкѣ прибора руководствуются мѣтками на его частяхъ, какъ было выше сказано. При завинчиваніи винтовъ надо держаться слѣдующей системы: если какая-нибудь часть привинчивается двумя или болѣе винтами, то надо, помѣстивъ всѣ винты въ соотвѣтственныя отверстія, не довинчивать ихъ одинъ за другимъ до конца, а, привинтивъ послѣдовательно всѣ весьма слабо, за-

тѣмъ послѣдовательно притягивать ихъ сильнѣе и сильнѣе всѣ по возможности равномѣрно; вышесказанное относится и къ гайкамъ и шурупамъ; предварительно же винты и гайки смазать слегка вазелиновымъ масломъ, шурупы же обильно вазелиново-восковою смазкою (2 ч. вазелина и 1 ч. воска).

Винты, служащіе такъ сказать, подшипниками для осей, какъ напр. въ машинѣ Атвуда, стрѣлкѣ и т. д., снабжаются, такъ называемыми контръ-гайками, не позволяющими винтамъ при вращеніи оси вывинчиваться или завинчиваться. При сборкѣ такихъ винтовъ надо навинтить на винтъ поближе къ головкѣ гайку, ввинтить винтъ на мѣсто, установить его въ нужномъ положеніи; для того, чтобы треніе оси было мало, ось должна имѣть легкое движеніе по своей длинѣ между винтами, и затѣмъ, придерживая винтъ отверткою или штифтомъ, смотря по голокѣ, завинтить гайку такъ, чтобы она плотно уперлась въ мѣсто, куда ввинченъ винтъ.

Для смазки вращающихся метталическихъ частей (осей въ подшипникахъ, въ остріяхъ и проч.) надо употреблять т. н. вазелиновое или парафиновое масло, причемъ смазывать необильно, масло не должно капать, смазываемыя части должны быть покрыты тонкимъ слоемъ масла; смазку лучше всего производить при помощи проволочки около 0·5 mm. діаметра, опуская ее въ масло, затѣмъ вынуть и пустить образовавшуюся на концѣ ея маленькую каплю въ смазываемое мѣсто.

Металлическія части, скользящія одна по другой, лучше смазывать вазелиномъ, какъ болѣе густымъ веществомъ; вазелинъ брать желтый и смазывать необильно.

Краны', поршни и проч. отнюдь не смазывать свинымъ или свѣчнымъ саломъ, такъ какъ оно со временемъ портится и густѣетъ и дѣйствуетъ на латунь; самая лучшая непортящаяся смазка состоитъ изъ смѣси хорошаго желтаго воска съ желтымъ вазелиномъ.

Краны, смазать, слегка вложить на мѣсто, повернуть нѣсколько разъ, вынуть и прочистить ходы отъ смазки, вложить на мѣсто, и привинтить прижимной винтъ такъ, чтобы кранъ вращался легко, но вмѣстѣ съ тѣмъ не имѣлъ замѣтныхъ движеній по своей оси. Кожанные поршни, кожанныя прокладки, клапаны и проч., если они были отмыты керосиномъ или еще не были въ дѣлѣ, пропитывать вышесказанною смазкою, погрузивъ

ихъ въ расплавленную, но не горячую смазку на нѣсколько минутъ.

Деревянныя скользящія части доски въ пазахъ, ящики и проч. для легкости движенія хорошо протирать сухимъ талькомъ, отнюдь не мыломъ.

Стеклянные краны смазывать вышеуказанною смазкою такъ же, какъ и металлическіе.

Физическій кабинетъ.

3. *Зеркала Пикте.* Вмѣсто корзины съ раздуваемыми углями въ фокусъ одного изъ зеркалъ помѣстить вольтову дугу или калильную лампочку въ 25 свѣчъ; фосфоръ или пироксилинъ, (окрашенный въ черный цвѣтъ спиртовымъ растворомъ нигрозина), находящійся въ фокусѣ другого зеркала, тотчасъ же вспыхиваетъ.

4. *Диффракція свѣта.* Передъ проекціоннымъ фонаремъ помѣстить широкую щель и вдвинуть конденсоръ; тогда изъ щели выходитъ слегка расходящійся пучокъ лучей; линзою получаютъ на вертикально поставленной линейкѣ изображеніе щели такъ, чтобы это изображеніе какъ разъ покрывало всю ширину линейки. Между фонаремъ и линзою, поставить пушистую кисть, тогда на затемненномъ экранѣ, помѣщающемся за линейкою, получается свѣтлое изображеніе кисти.

Конецъ 5-го тома.

и 3) 24 КНИГИ „БИБЛIОТЕКИ РУССКИХЪ И ИНОСТРАННЫХЪ ПИСАТЕЛЕЙ", которыя будутъ заключать въ себѣ серію оригинальныхъ и переводныхъ историческихъ, бытовыхъ и соціальныхъ романовъ, повѣстей, очерковъ и т. д. Изданіе это будетъ разсылаться вмѣстѣ съ „Вѣстникомъ Литературы", т. е. каждаго 8-го и 23-го числа.

ОСОБЫЯ ПРЕМIИ.

Въ продолженіе года при журналѣ будутъ прилагаться:

Большія полихромныя картины,

Акварельныя копіи въ краскахъ,

наклеенныя на особые картонные листы,

Геліогравюры-mezzotinto и пр. и пр.

Всѣ преміи къ „Новому Міру" заказаны лучшимъ заграничнымъ полиграфическимъ заведеніямъ и будутъ представлять **Большую художественную цѣнность**.

Подписная цѣна „Новаго Міра", съ дост. и перес.: на годъ 14 руб., на полгода—7 руб., на четверть года . . . . **3 р. 50 к.**

Для годовыхъ подписчиковъ допускается льготная разсрочка, именно—при подпискѣ и ежемѣсячно, до уплаты всей подписной стоимости. по . . . . . . **2 р.**

Съ требованіями обращаться: **въ контору журнала „НОВЫЙ МIРЪ"**, при книжномъ магазинѣ Товарищества М. О. ВОЛЬФЪ,
С.-Петербургъ, Гостинный Дворъ № 18.

Отвѣтственный редакторъ **П. М. ОЛЬХИНЪ**. — Издатели: **Товарищество М. О. ВОЛЬФЪ**.